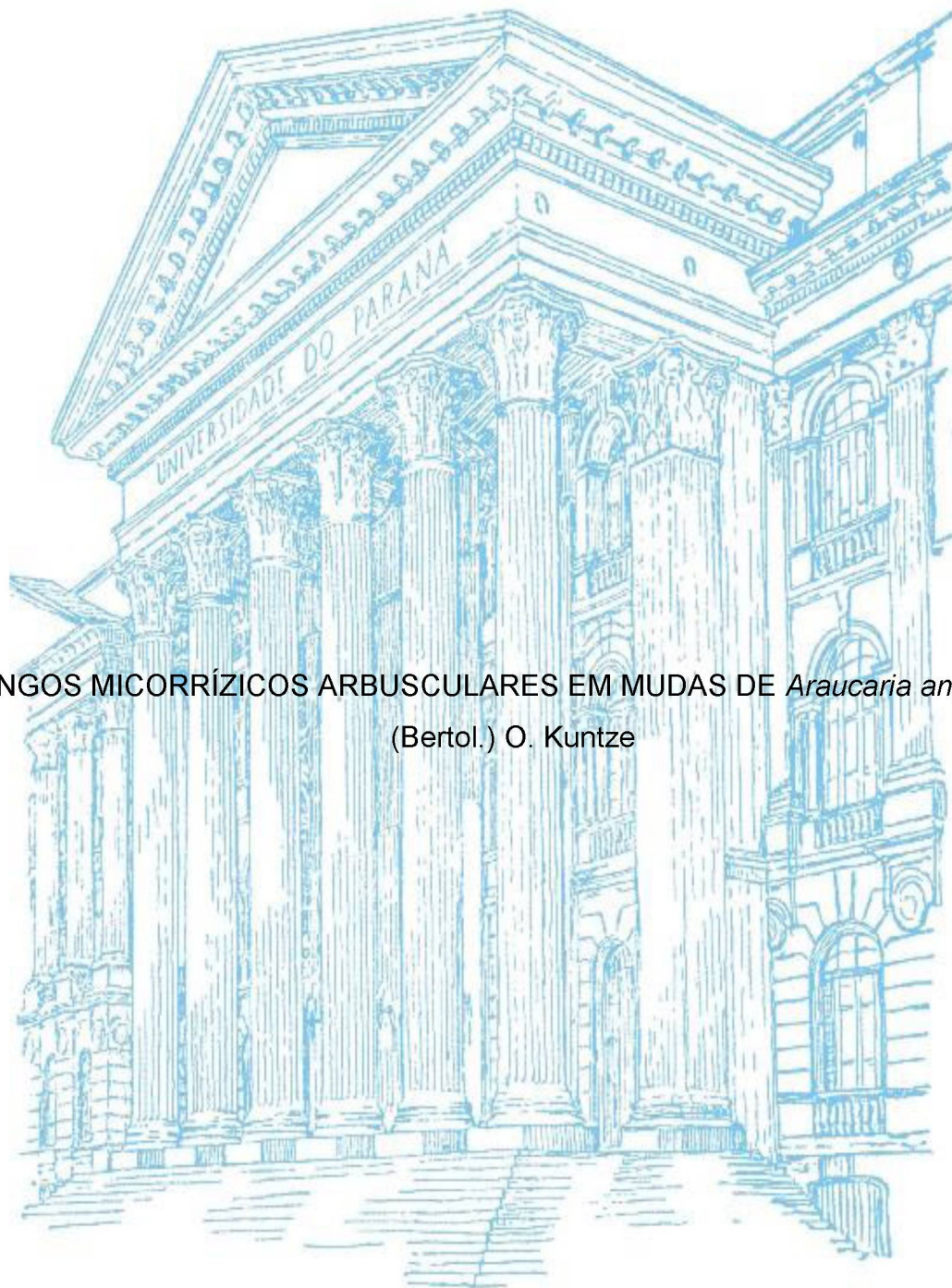


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS VILCATOMA MEDINA



FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia*
(Bertol.) O. Kuntze

CURITIBA

2019

CARLOS VILCATOMA MEDINA

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia*
(Bertol.) O. Kuntze

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Zanette

Co-orientadora: Profa. Dra. Glaciela Kaschuk

CURITIBA

2019

Medina, Carlos Vilcatoma
M491 Fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze / Carlos Vilcatoma Medina. - Curitiba, 2019.
125 p.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - (Produção Vegetal).
Orientador: Flávio Zanette
Coorientadora: Glaciela Kaschuk

1. Simbiose. 2. Pinheiro-do-parana. 3. Nutrientes. 4. Adubação. I. Zanette, Flávio (Orientador). II. Kaschuk, Glaciela (Coorientadora). III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **CARLOS VILCATOMA MEDINA** intitulada: **FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 10 de Maio de 2019.

FLAVIO ZANETTE
Presidente da Banca Examinadora

SONIA PURIN DA CRUZ
Avaliador Externo (UFSC)

MARCOS ANTONIO DOLINSKI
Avaliador Externo (UTP)

GLACIELA KASCHUK
Avaliador Externo (UFPR)

LUIZ ANTONIO BIASI
Avaliador Interno (UFPR)

Aos meus pais Emilia e Benjamin,
minha irmã Carmen,
que estão na glória do senhor,
iluminando-me e incentivando
na minha trajetória pessoal e profissional
com exemplo de vida e responsabilidade.

Aos meus irmãos Rosário, Luís e sobrinhos,
pelo amor, apoio e estímulo de cada dia.

Com tudo o meu amor!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A nosso senhor Deus, pela vida, força e proteção.

Ao professor Dr. Flávio Zanette por ter acreditado no meu trabalho, pelos ensinamentos, apoio e confiança depositada na minha pessoa.

À professora Dra. Glaciela Kaschuk, pela orientação, ensinamento, apoio, confiança e elaboração da tese.

Ao Professor Dr. Celso Garcia Auer, pelas sugestões e auxílio do acesso das instalações dos laboratórios de Departamento de Ciências do Solo da ESALQ - USP.

Ao ESALQ – USP, Laboratório de microbiologia do solo, especialmente a Dra. Elke Cardoso e a técnica Denise Mescolotti, pelo apoio e disponibilização dos laboratórios durante o tempo de aprendizagem.

Ao Dr. Sidney Stürmer pelo auxílio na identificação e entrega dos inoculantes de espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares.

Aos professores do PGAPV pelos ensinamentos, principalmente ao professor Luiz A. Biasi pelas excelentes sugestões.

Aos colegas Marcos A. Dolinski, Valdeci Constantino, Jessica Welinski, Crizane Hackbarth, Caroline Frizzo, Leandro Marcolino, Claudio Araújo, Tales Romano, Rodrigo Santos, Etienne Winagraski, Pedro Riboldi, Daniel Malheiro, Daniel Vendramin e Rafael Araújo, pela parceria nos estudos e nas pesquisas.

À Lucimara Antunes, secretária do PGAPV, por sua amizade, auxílio e apoio administrativo.

Aos técnicos: Carlos Maduro, Maria A. Carvalho, Fabiana Gavelaki, Carla Albuquerque, Heila Araújo, Roger Raupp, Virginia Carvalho e Maria Emília pela atenção e apoio nas análises.

Aos meus amigos e colegas Ju Cidral, Flavio Cruz, André Coutinho, Alan Ripoll e Antonioni Moliterno pela força e parceria.

Menção especial para Bruno modesto Homem, Rodrigo Tenorio e suas Famílias respectivamente pela torcida, gratidão sempre.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

*De todas as arvores, é a mais bela!
Pois fico te admirando da janela,
Esse tão belo símbolo do Paraná!
Que ornamenta a grota e a estepe
Que dá, bom alimento ao serelepe,
E onde faz seu ninho, o sabiá.*

*Pinheiro. Essa nossa árvore lendária,
Que também a chamam de araucária,
Que tanto embeleza o nosso chão!
Entre tantas, bem mais de mil,
E verdadeira riqueza do Brasil,
Que traz tanta vida à região.*

(Gil de Olive)

RESUMO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze é uma conífera nativa de grande importância econômica, social e ecológica da região sul do Brasil. A simbiose com os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) possibilita uma maior absorção de água e nutrientes e resistência a fatores abióticos, mas pouco se sabe da interação e inoculação de espécies de FMA na produção de mudas com padrão de qualidade. Portanto o objetivo geral foi determinar o efeito dos diversos fatores limitantes como idade das mudas, substrato e a fertilização com NPK influem nas espécies de FMA na produção de mudas de araucária. Consequentemente, os objetivos específicos foram: (1) identificar a diversidade de espécies de FMA presentes nos substratos, visando verificar a esporulação e colonização micorrízica em mudas de araucária de diferentes idades; (2) obter as doses de NPK apropriadas que favoreçam a diversidade e a esporulação das espécies de FMA, além da colonização radicial para o crescimento das mudas; (3) avaliar o efeito da inoculação de espécies de FMA e a fertilização fosfatada em mudas de *A. angustifolia* com base no crescimento e estado nutricional para produção de mudas de boa qualidade. As mudas de diferentes idades apresentam diversidade de FMA, sendo o gênero *Glomus* quem apresenta maior predominância e diferencia-se devido estar em maior quantidade e número de espécies. Enquanto que na eficiência micorrízica, as espécies de FMA apresentam alta colonização radicial nas mudas a partir de um ano. Quando aplicados diferentes doses de NPK, destacam-se o gênero *Glomus* e a espécie *Rhizophagus clarus* independente das concentrações. O fósforo é o elemento que apresenta maior efeito nos índices de diversidade de espécies de FMA, sendo que as doses médias favorecem uma alta colonização radicial e maior quantidade de número de espécies de FMA. A inoculação de espécies de FMA proporciona respostas favoráveis nos parâmetros de crescimento, colonização radicial e na extração dos macro e micronutrientes destacando a mistura de espécies de FMA da floresta de 50 anos, *Rhizophagus intraradices* e *Acaulospora colombiana*. A adubação do fósforo com 25 mg P_2O_5 destaca de maneira significativa nos parâmetros de crescimento das mudas em comparação dos demais tratamentos, além de permitir uma eficiente colonização radicial.

Palavras-chave: Simbiose. Colonização radicial. Nutrientes. Adubação de plantas.

ABSTRACT

Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze is a native conifer of great economic, social and ecological importance in the southern region of Brazil. The symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) allows a greater absorption of water and nutrients and resistance to abiotic factors, but little is known about the interaction and inoculation of AMF species in the production of seedlings with a quality standard. Therefore the general aim was to determine the effect of the various limiting factors such as age of the seedlings, substrate and fertilization with NPK influence on AMF species in the production of araucaria seedlings. Consequently, the specific objectives were: (1) to identify the diversity of AMF species present in the substrates, in order to verify sporulation and mycorrhizal colonization in araucaria seedlings of different ages; (2) to obtain the appropriate NPK doses favoring the diversity and sporulation of the AMF species, in addition to root colonization for seedling growth; (3) to evaluate the effect of the inoculation of AMF species and phosphate fertilization on *A. angustifolia* seedlings based on growth and nutritional status for production of good quality seedlings. The seedlings of different ages present FMA diversity, being the *Glomus* genus the one that presents displays greater predominance and it is differentiated due to being in greater quantity and number of species. While in the mycorrhizal efficiency, the AMF species present high root colonization in the seedlings from one year. When different doses of NPK are applied, the genus *Glomus* and the *Rhizophagus clarus* species stand out independent of the concentrations. Phosphorus is the element that has the greatest effect on the diversity indexes of AMF species, and the average doses favor a high root colonization and amount number of FMA species. The inoculation of AMF species provides favorable responses in the parameters of growth, root colonization and in the extraction of macro and micronutrientes, highlighting The mixture of FMA species from the 50-year-old forest, *Rhizophagus intraradices* and *Acaulospora colombiana*. Phosphorus fertilization with 25 mg P_2O_5 stands out significantly in the growth parameters of the seedlings compared to the other treatments, above allowing an efficient root colonization.

Key-words: Symbiosis. Root colonization. Nutrients. Fertilization of plants.

LISTA DE FIGURAS

2 REVISÃO DE LITERATURA

FIGURA 1 - VISÃO GERAL NO FUNDO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA COM DOMÍNIO PARA AS ARAUCÁRIAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE DO SUL, PARANÁ, BRASIL..... 19

FIGURA 2 - COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA DO NÓDULO DA RAIZ DE MUDA DE *Araucaria angustifolia*..... 27

3 CAPITULO I: COLONIZAÇÃO DE RAÍZES DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. KTZE. POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

FIGURA 1 - VIVEIRO DO SETOR CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UFPR, CURITIBA-PR, BRASIL..... 46

FIGURA 2 - ESPOROS IDENTIFICADOS NAS MUDAS DE DIFERENTES IDADES. Onde: *Acaulospora scrobiculata* (A); *Dentiscutata heterogama* (B); *Gigaspora* sp. (C); *Glomus spinuliferum* (D); *Glomus* sp.1 (E); *Glomus* sp.2 (F); *Glomus* sp.3 (G) e *Glomus* sp.4 (H)..... 49

FIGURA 3 - ANÁLISES DE REDUNDÂNCIA (RDA), COM VÁRIAS ESPÉCIES DE FMA E ANÁLISES QUÍMICOS DOS SOLOS OBTIDOS DE MUDAS DE DIFERENTES IDADES. *Ascr*: *Acaulospora scrobiculata*; *Dhtg*: *Dentiscutata heterogama*; *Ggsp*: *Gigaspora* sp.; *Glof*: *Glomus spinuliferum*; *Glo1*: *Glomus* sp.1; *Glo2*: *Glomus* sp.2; *Glo3*: *Glomus* sp.3; *Glo4*: *Glomus* sp.4..... 50

FIGURA 4 - COLONIZAÇÃO RADICIAL NAS MUDAS DE DOIS ANOS DE *Araucaria angustifolia*..... 51

FIGURA 5 - PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO RADICIAL DE FMA EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia* DE DIFERENTES IDADES..... 51

FIGURA 6 - COLONIZAÇÃO RADICIAL NAS MUDAS DE DIFERENTES IDADES COM PRESENÇA DE ESPOROS (A), VESÍCULA (B) E ARBÚSCULO TIPO *ARUM* (C)..... 55

4 CAPITULO II. COLONIZAÇÃO MICORRIZICA EM MUDAS DE ARAUCÁRIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NPK

- FIGURA 1 - ESPOROS IDENTIFICADOS NAS MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL. Onde: *Acaulospora tuberculata* (A); *Acaulospora spinosa* (B); *Ambispora leptoticha* (C); *Entrophospora infrequens* (D); *Glomus* sp.4 (E) e *Rhizophagus clarus* (F)..... 66
- FIGURA 2 - COLONIZAÇÃO RADICIAL DE MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO DOS EXPERIMENTOS COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL..... 69
- FIGURA 3 - ANÁLISES DE REDUNDÂNCIA (RDA), COM VÁRIAS ESPÉCIES DE FMA, ANÁLISES QUÍMICOS DOS SOLOS E RESPOSTAS NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK. *Aca Tub*: *Acaulospora tuberculata*; *Aca Scr*: *Acaulospora scrobiculata*; *Aca Spi*: *Acaulospora spinosa*; *Gig Sp*: *Gigaspora Sp.*; *Den Het*: *Dentiscutata heterogama*; *Amb Lep*: *Ambispora leptoticha*; *Ent Inf*: *Entrophospora infrequens*; *Gl Spi*: *Glomus spinuliferum*; *Gl M*: *Glomus macrocarpum*; *Gl 1*: *Glomus* Sp.1; *Gl 2*: *Glomus* Sp.2; *Gl 3*: *Glomus* Sp.3; *Gl 4*: *Glomus* Sp.4 e *Rhi Cla*: *Rhizophagus clarus*..... 70

5 CAPITULO III. INFLUÊNCIA DA INOCULAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS E ADUBAÇÃO FOSFATADA EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia*

- FIGURA 1 - MULTIPLICAÇÃO DE ESPÉCIES DE FMA NA *Brachiaria decumbens* (A e B), PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO (C e D) E INOCULAÇÃO DOS FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA (E e F) EM MUDAS GERMINADAS DE *Araucaria angustifolia* NO VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL..... 85
- FIGURA 2 - ARQUITETURA DAS MUDAS DE ARAUCÁRIA COM ADUBAÇÃO FOSFATADA COM 25 mg P₂O₅ (A), INOCULAÇÃO DA FLORESTA 50 ANOS (B) E A TESTEMUNHA (C) GERMINADAS APÓS 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL..... 88
- FIGURA 3 - EFEITO DE EXTRAÇÃO DOS MACRO E MICROELEMENTOS NA ACÍCULA, TRONCO E RAIZ DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL..... 90
- FIGURA 4 - COLONIZAÇÃO RADICIAL DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 E 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL. Onde: *GM*: *Gigaspora margarita*; *RI*: *Rhizophagus intraradices*; *AC*: *Acaulospora colombiana*; *ASC*: *Acaulospora scrobiculata*; *DH*: *Dentiscutata heterogama*; *F50*: Floresta 50 anos; 25P₂O₅: 25 mg kg⁻¹ P₂O₅ e 100P₂O₅: 100 mg kg⁻¹ P₂O₅; T: Testemunha..... 91

FIGURA 5 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS MÉDIAS DOS TRATAMENTOS NA PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO, PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, PRESENÇA DOS MACRO E MICRONUTRIENTES EM MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 (A) E 150 DIAS (B) EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL..... 93

FIGURA 6 - DIAGRAMA DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) EM MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 (A) E 150 DIAS (B) EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL. Com presença dos parâmetros de crescimento e porcentagem de colonização (COL). *GM*: *Gigaspora margarita*; *RI*: *Rizophagus intraradices*; *AC*: *Acaulospora colombiana*; *ASC*: *Acaulospora scrobiculata*; *DH*: *Dentiscutata heterogama*; *F50*: Floresta 50 anos; 25P₂O₅: 25 mg kg⁻¹ P₂O₅ e 100P₂O₅: 100 mg kg⁻¹ P₂O₅; T: Testemunha; H: Altura; D: Diâmetro; ComR: Comprimento da Raiz; MFPA: Massa fresca parte aérea; MSPA: Massa seca parte aérea; MFR: Massa fresca da Raiz; MSR: Massa seca da Raiz..... 95

LISTA DE TABELAS

3 CAPITULO I. COLONIZAÇÃO DE RAÍZES DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. KTZE. POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

TABELA 1 -	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> DE DIFERENTES IDADES.....	46
TABELA 2 -	NÚMERO MÉDIO DE ESPOROS DE ESPÉCIES DE FMA EM 100 g DE SOLO DE MUDAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> DE DIFERENTES IDADES.....	48

4 CAPITULO II. COLONIZAÇÃO MICORRIZICA EM MUDAS DE ARAUCARIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NPK

TABELA 1 -	EXPERIMENTOS COM NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) EM MUDAS DE ARAUCÁRIA COM SEIS MESES DE IDADE, PLANTADAS EM VASOS DE 16 L E ADUBADAS COM DIFERENTES DOSES DE NPK, EM CURITIBA, BRASIL.....	62
TABELA 2 -	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO AO FINAL DOS EXPERIMENTOS COM MUDAS DE ARAUCÁRIA COM DOIS ANOS E MEIO DE IDADE, PLANTADAS EM VASOS E ADUBADAS COM DIFERENTES DOSES DE NPK, EM CURITIBA, BRASIL.....	64
TABELA 3 -	NÚMERO MÉDIO DE ESPOROS MICORRÍZICOS DOS EXPERIMENTOS COM MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.....	65
TABELA 4 -	COMPARAÇÃO DOS INDICES DE DIVERSIDADE MICORRÍZICA NOS EXPERIMENTOS COM MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.....	68

5 CAPITULO III. INFLUÊNCIA DA INOCULAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS E ADUBAÇÃO FOSFATADA EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia*

TABELA 1 -	PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.....	87
TABELA 2 -	PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	- Alumínio
C	- Carbono
Ca	- Cálcio
cmol	- Centimole
Cu	- Cobre
dm ³	- Decímetro cúbico
Fe	- Ferro
g	- Grama
H	- Hidrogênio
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INVAM	- International Culture Collection Of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi
IUCN	- The International Union for Conservation of Nature
K	- Potássio
kg	- Quilograma
L	- Litro
Mg	- Magnésio
mg	- Miligrama
mm	- Milímetro
Mn	- Manganês
MO	- Matéria Orgânica
N	- Nitrogênio
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
µm	- Micrômetro
Zn	- Zinco
°C	- Graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
	REFERÊNCIAS.....	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA <i>Araucaria angustifolia</i>	19
2.2	FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES (FMA).....	22
2.3	FMA NA CULTURA DE <i>Araucaria angustifolia</i>	27
2.4	IMPORTANCIA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUALIDADE DE ARAUCÁRIA EM PRESENÇA DOS FMA.....	30
	REFERÊNCIAS.....	32
3	COLONIZAÇÃO DE RAÍZES DE MUDAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) O. KTZE. POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	43
	RESUMO.....	43
	ABSTRACT.....	44
3.1	INTRODUÇÃO.....	45
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.3	RESULTADOS.....	47
3.4	DISCUSSÃO.....	52
3.5	CONCLUSÕES.....	55
	REFERÊNCIAS.....	56
4	COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA EM MUDAS DE ARAUCÁRIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NPK.....	59
	RESUMO.....	59
	ABSTRACT.....	60
4.1	INTRODUÇÃO.....	61
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	62
4.3	RESULTADOS.....	64
4.4	DISCUSSÃO.....	70
4.5	CONCLUSÕES.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75

5	EFEITO DA INOCULAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO EM MUDAS DE <i>Araucaria angustifolia</i>.....	81
	RESUMO.....	81
	ABSTRACT.....	82
5.1	INTRODUÇÃO.....	83
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	84
5.3	RESULTADOS.....	87
5.4	DISCUSSÃO.....	96
5.5	CONCLUSÕES.....	99
	REFERÊNCIAS.....	100
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
	REFERÊNCIAS.....	105
	ANEXOS.....	124

1. INTRODUÇÃO GERAL

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze (*A. angustifolia*) é uma espécie arbórea conífera subtropical popularmente conhecida como araucária. Ela pode ser encontrada em regiões que apresentam clima de montanha como a região sul do Brasil, em manchas dispersas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, assim como no extremo nordeste argentino e leste paraguaio (CARVALHO, 2003).

A semente de araucaria, denominada pinhão, é um produto sazonal que possui grande valor nutricional (BRANCO et al., 2016). É considerada a conífera mais importante do Brasil devido à sua importância comercial para obtenção de madeira de qualidade e produção de sementes comestíveis consumidos por animais silvestres e seres humanos (ORELLANA; VANCLAY, 2018).

A araucária, também conhecida como pinheiro brasileiro é considerada uma espécie nativa em extinção. Sua preservação é justificada pelo seu valor econômico, como pela produção de madeira, resina e alimentos, bem como a necessidade de manter sua diversidade biológica (MOREIRA-SOUZA et al., 2003).

Uma estratégia a longo prazo para contornar a extinção total da *A. angustifolia* consiste na produção de mudas com o objetivo de recompor áreas inicialmente povoadas por esta espécie ou mesmo para a formação de plantios florestais. Entretanto as áreas destinadas ao reflorestamento apresentam solos quimicamente pobres, com baixa disponibilidade de nutrientes (SIMÕES et al., 1973). Considerando que a cultura estabelece naturalmente simbiose com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), o sucesso dos plantios florestais pode ser obtido com a produção de mudas de araucária inoculadas com FMA (SOUZA; CARDOSO, 2002), os quais aumentam o volume de solo explorado e potencializam a absorção e disponibilidade de nutrientes às plantas (ANTONIOLLI; KAMINSKI, 1991).

As micorrizas arbusculares incrementam consideravelmente a área de absorção radicular das plantas colonizadas, maximizam o aproveitamento de água e nutrientes, como o fósforo (P), o nitrogênio (N) e o potássio (K). Além disso, propiciam melhor resistência ao estresse hídrico, as temperaturas elevadas, à acidez do solo por serem mais tolerantes à presença de Al, maior tolerância às condições de toxicidade de metais pesados presentes no solo e proteção do sistema radicular contra patógenos (FOLLI-PEREIRA et al., 2012; BERTOLAZI et al., 2013).

Além disso, a formação de plantios florestais depende de vários fatores como utilização de mudas com qualidade genética e fisiológica, que possibilite maiores índices de sobrevivência no plantio e resistência a estresses ambientais, com o a finalidade de haver ganhos em produtividade e em qualidade da matéria-prima (WENDLING et al., 2017). O uso de plântulas vigorosas em programas de revegetação é importante, no entanto, plântulas de espécies florestais são geralmente tênues, apresentam deficiência nutricional em fósforo e apresentam alta taxa de mortalidade após o transplante (RIFLE; BOOSALIS, 1979). Esses problemas podem ser minimizados com a inoculação de fungos micorrízicos eficientes ainda nos viveiros (MENGE, 1983).

Com base no exposto sobre a cultura da araucária em simbiose com os FMA, a seguinte pesquisa teve como objetivo geral determinar o efeito da idade das mudas, substrato e a fertilização com NPK nas espécies de FMA na produção de mudas de araucária.

Consequentemente, os objetivos específicos foram: (1) identificar a riqueza da diversidade de espécies de FMA presentes nos substratos, visando verificar a esporulação e colonização micorrízica em mudas de araucária de diferentes idades; (2) obter as doses de NPK apropriadas que favoreçam a incidência da diversidade e esporulação das espécies de FMA, além da colonização radicial para o crescimento das mudas; (3) avaliar o efeito da inoculação de espécies de FMA e a fertilização fosfatada em mudas de *A. angustifolia* com base no crescimento e estado nutricional para produção de mudas de boa qualidade.

REFERÊNCIAS

- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. Micorrizas. **Ciência Rural**, v. 21, p. 441-455, 1991.
- BERTOLAZI, A. A.; VENANCIO, J. B.; FIGUEIRA, F.F.; SOUZA, S.B.; BARCELOS, J. G. Toxicidade do alumínio e o potencial dos fungos ectomicorrízicos na biorremediação dos solos ácidos. **Natureza on line**, v. 11, p. 170-177, 2013.
- BRANCO, C. S., RODRIGUES, T. S., LIMA, É. D., CALLONI, C., SCOLA, G., & SALVADOR, M. Chemical constituents and biological activities of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: A review. **Journal of Organic and Inorganic Chemistry**, v. 2, p. 1-10, 2016.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília: EMBRAPA – SPI, 2003. 1039 p.
- FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza Arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.
- MENGÉ J. A. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. **Canadian Journal of Botany**, v. 61, p.1015-1024, 1983.
- MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 26, p. 905-912, 2002.
- MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 13, p. 211-215, 2013.
- ORELLANA, E.; VANCLAY, J. K. Could native *Araucaria* forests be managed for timber production on small farms in southern Brazil?. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 1-9, 2018.
- RIFLE, J. M.; BOOSALIS, M. G. Mycorrhizal - Good for our trees. **Farm Ranch Home Q.** p. 1-8, 1979.
- SIMÕES, J. W.; do COUTO, H. T. Z. KAJYIA, S. Tolerância do pinheiro DO Paraná (*Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE) a teores crescentes de alumínio. **IPEF**, n.6, p. 93-102, 1973.
- WENDLING, I.; STUEPP, C. A.; ZANETTE, F. **Produção de mudas de araucária por semente**. Seção de livros. EMBRAPA Floresta, capítulo 2, 2017.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA *Araucaria angustifolia*

Araucaria angustifolia (Bertol.). Kuntze (Araucariaceae), muito conhecida como araucária, pinheiro-brasileiro e pinheiro-do-Paraná, é a espécie mais importante da região sul do Brasil (FRANCO; DILLENBURG, 2007; ZANETTE et al., 2017) que compreende os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (CARVALHO, 2003). No início abarcava também pequenas extensões isoladas nas regiões mais frias e altas dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo (ZANETTE et al., 2017).

A Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta de Araucária faz parte do bioma da Mata Atlântica (BRASIL, 2006) (FIGURA 1), com grande dominância da *Araucaria angustifolia* representando 40% dos indivíduos (KOCH e CORRÊA, 2010). Atualmente encontra-se inserida na lista de espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2008; IUCN, 2013), devido à exploração da sua madeira e expansão agrícola, restando atualmente cerca de 10% da mata de araucária (IBAMA, 2014).



FIGURA 1 – VISÃO GERAL NO FUNDO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA COM DOMÍNIO PARA AS ARAUCÁRIAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE DO SUL, PARANÁ, BRASIL.
FONTE: O autor (2016).

Na atualidade, a distribuição geográfica da Floresta com Araucária é de 19° a 30° S de latitude e 40° a 57° W de longitude, situando-se aproximadamente entre 400 a 1.000 m, precipitação pluvial média entre 1.200 e 2.300 mm e temperatura média anual entre 13,2 °C (São Joaquim, SC) a 21,4°C (Cianorte, PR) (CARVALHO, 2003; SOUZA et al., 2009).

A densidade de indivíduos das florestas de araucária varia muito de uma região para a outra, principalmente em função do clima, tipo de solo (BANDEL, 1966) e estágio sucessional (KLEIN, 1960). Em Campos do Jordão, SP, Solórzano-Filho (2001) observou em média 91,5 indivíduos/ha. Já Mantovani et al. (2004), no mesmo município observaram 32 ind/ha, enquanto Kindel (1996) observou 47 ind/ha na região norte do Rio Grande do Sul.

A araucária é uma espécie dioica, raramente monoica (BACKES, 1999), onde o início da formação das estruturas reprodutivas (estróbilos) se dá de agosto a janeiro e a produção de sementes de março a setembro no Paraná, de abril a julho em São Paulo e Santa Catarina, e de abril a agosto no Rio Grande do Sul (CARVALHO, 1994).

As sementes são cônicas de 5 a 7 cm de comprimento, 2 a 2,5 cm de diâmetro, e 5 a 10 g cada uma. A polinização se dá pelo vento e acontece na primavera, entre os meses de setembro a outubro (MATTOS, 1994), atingindo a maturação após o polimorfismo. A quantidade de sementes produzidas pelas araucárias depende das condições da localidade onde se desenvolvem.

Em populações naturais de araucária, a produtividade de pinhão observada é geralmente baixa, devido ao baixo número de ramos mantidos nas plantas sombreadas na mata e na baixa densidade de araucárias femininas produtivas (15 a 20 plantas/ha). O número médio encontrado é de 4 a 20 pinhas por araucária e produção de 20 kg a 200 kg de pinhão por hectare (ZANETTE et al., 2017).

Segundo as condições da polinização, uma pinha pode produzir até 150 sementes férteis e 700 escamas (PRACIAK et al., 2013), sendo as sementes recalcitrantes na qual perdem viabilidade após 60 dias quando armazenadas no freezer a -18 °C e mantem boa viabilidade após 180 dias sob a refrigeração a 5 °C (GARCIA et al., 2014).

Solórzano-Filho (2001), em uma floresta em São Paulo, encontrou em média 89 pinhões por pinhas, com uma produção de sementes estimada em aproximadamente 75.000 pinhões por hectare. Mattos (1994), encontrou em média

91 pinhões por pinha no Rio Grande do Sul e Mantovani et al. (2004) encontraram diferenças significativas na produção de sementes entre os anos de 2001 (117 kg/ha) e 2002 (160 kg/ha) no estado de São Paulo.

No caso, quando as araucárias se desenvolvem em ambiente aberto em geral produzem maior número de pinhas em relação àquelas que estão em áreas florestais. Como os observados no Estado de Santa Catarina, aonde na área urbana do município de Caçador uma planta de araucária chegou a produzir uma média de 360 pinhas entre os anos 2008 a 2016 e na localidade de Bom Retiro, outra araucária chegou a produzir 380 pinhas no ano de 2011 (ZANETTE et al., 2017).

A espécie tem crescimento inicial lento, sendo afetado muito mais pela física do solo do que pelas condições químicas, bem como pela formação de um sistema radicial pivotante bem desenvolvido (MÓSENA; DILLENBURG, 2004). Naturalmente é encontrada sobre solos com baixa e alta fertilidade, como são os casos dos derivados do arenito e do basalto respectivamente. A profundidade do solo é mais importante comparada às características químicas (SILVA et al., 2001), apresentando maior crescimento volumétrico em solos profundos ($20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), em solos pedregosos ($16,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e, em média, $12,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ sobre solos rasos (LASSERE et al., 1972).

A espécie pode chegar a viver de 200 a 300 anos (ou mais). A sua fase reprodutiva normalmente atinge após 12 a 15 anos de idade (BANDEL; GURGEL, 1967; CARVALHO, 2003). Na maturidade as árvores podem alcançar uma altura média de 30 a 35 m e 1,0 a 1,5 m de diâmetro do tronco. Apresenta o tronco reto e cilíndrico, com ramos dispostos em 8 a 15 verticilos, tendo 6 a 10 ramos por verticilo, com crescimento horizontal (plagiotrópico). As araucárias quando velhas têm formato de candelabro, devido à perda dos verticilos basais. Os ramos secundários são conhecidos por grimpas e contém as folhas denominadas de acículas de formas triangulares e pontiagudas (PRACIAK et al., 2013; ZANETTE et al., 2017).

A semente da araucária, mais conhecida popularmente como pinhão é um importante alimento na dieta das pessoas e muitos animais, já que possuem um alto valor nutritivo com 54% de amido, 5,1% de proteína e forte presença de fibras, cálcio, fósforo, ferro e vitaminas (FERREIRA, 1977; ROSADO et al., 1994; FRANCO, 2008). O conteúdo de amido do pinhão pode ser muito usado na tecnologia de alimentos (STAHL et al., 2007) e produzidas em grande quantidade, sobretudo em

época de relativa escassez de outros alimentos, entre os meses de abril a julho (MANTOVANI et al., 2004; PAISE; VIEIRA, 2005).

As sementes são dispersas por meio de autocoria e zoocoria (SOUZA et al., 2009), sendo que além da predação dos pinhões, os animais consumidores das sementes atuam como dispersores das mesmas, levando para longe da planta mãe, entre elas podemos citar as famosas aves como as gralhas (*Cyanocorax caeruleus*, *C. chrysops*) (MULLER, 1986; ANJOS, 1991; KINDEL, 1996; SOLÓRZANO-FILHO, 2001), dos mamíferos temos o esquilo (*Sciurus ingrami*), as cotias (*Dasyprocta azarae*) e outros muitos roedores não menos importantes.

A madeira da araucária é composta de 58,3% de celulose de fibra longa e 28,5% de lignina, podendo assim ser utilizada na construção, carpintaria e na produção de papel de alta qualidade (CARVALHO, 1994; PRACIAK et al., 2013). A resina proveniente da casca serve para fabricação de vários produtos químicos, como vernizes, terebentina, acetona e ácido pirolenhoso (CARVALHO, 1994; MATTOS, 1994).

A. angustifolia tem uma elevada importância econômica, social e ambiental, pois é uma das espécies nativas com maior incremento e potencial de ganho genético (WREGE et al., 2017). Por tanto, torna-se essencial o cuidado e manejo adequado para garantir a conservação e o aproveitamento dos benefícios gerados pela planta. Para isso, são necessários que sejam realizados estudos mais aprofundados, tanto em áreas naturais como reflorestadas para fins comerciais.

2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

O termo micorriza, que significa fungo para a raiz, foi usado pela primeira vez no ano 1885 por Frank (FRANK; TRAPPE, 2005), sendo colonizada por fungos que apresentavam estruturas miceliais e esporos similares dos atuais Fungos Micorrízicos arbusculares (FMA) (REDECKER et al., 2000). Sobre a origem da simbiose, sabe-se que aconteceu entre 460 e 500 milhões de anos em evidências fósseis encontradas nas primeiras plantas do ecossistema terrestre, mas a divisão Glomeromycota (que contem todos os FMA) já era encontrada há 600 milhões de anos (BERBARA et al., 2006).

Os FMA são muito importantes e comuns no agroecossistemas, pertencem ao Filo Glomeromycota, Classe Glomeromycetes e são organismos biotróficos obrigatórios que se manifestam ao contrário de uma doença como uma associação

simbiótica ou mutualista em cerca de 90% das espécies de plantas terrestres (SMITH; READ, 2008; ALIZADEH, 2011; XIE et al., 2014; CARDOSO; VASCONCELLOS, 2015) em até gametófitos da vida livre (MOREIRA et al., 2016). Os Glomeromicetos formam um grupo monofilético, no qual estão classificados em quatro ordens, treze famílias e dezenove gêneros, com pouco mais de 215 espécies descritas e ocorrência de 119 dos FMA registrada no Brasil, confirmando a grande diversidade nos ecossistemas brasileiros (De SOUZA et al., 2010).

Os FMA possibilitam às plantas uma maior absorção de água e nutrientes, proteção contra patógenos radiciais, resistência a estresse hídrico e metais pesados no ambiente, assim como exercer controle sobre patógenos e influenciar na melhoria de agregados e a estruturação dos solos (BERBARA et al., 2006; WRIGHT et al., 2007; CARDOSO et al., 2010; PENG et al., 2013).

As principais fontes de inóculo de FMA presentes no solo estão em forma de esporos, fragmentos de raízes colonizadas e plantas infectadas e a colonização radicial ocorre pelas hifas que se originam dos propágulos do solo (ANTONIOELLI; KAMINSKI, 1991; AZCÓN; BAREA, 1997), que se alimentam de nutrientes que estão limitados para o crescimento das plantas especialmente fósforo e nitrogênio (NOURI et al., 2014). Estes nutrientes são entregues para as plantas hospedeiras em troca de até 20% de carbono fixado para a sobrevivência e crescimento dos fungos (PARNISKE, 2008; SMITH; READ, 2008). Consequentemente, a simbiose micorrízica exerce forte influência no crescimento das plantas (FOLLI-PEREIRA et al., 2012).

Os esporos formados pelos FMA apresentam diferentes tamanhos que variam entre 22 a 1050 μm em diâmetro (SCHENCK; PEREZ, 1990), sendo essas estruturas multinucleadas podem conter, dependendo da espécie, centenas a milhares de núcleos (PAWLOWSKA; TAYLOR, 2004) e são capazes de germinar sem a presença do seu hospedeiro, mas respondem satisfatoriamente com a presença dele. Por isso antes de acontecer a colonização micorrízica, os simbiontes emitem sinais e, por parte da raiz há liberação da secreção de exsudatos, como a estrigolactona, que induz a germinação e uma intensa ramificação das hifas dos esporos. Por sua vez o fungo produz oligômeros de quitina a qual ativa a micorrização propriamente dita (TAMASLOUKHT et al., 2003; AKIYAMA; HAYASHI., 2006; BUCKING et al., 2012; GENRE et al., 2013).

O micélio das hifas são asseptadas ou cenocíticas, sendo que as hifas para penetrar nas raízes formam uns apressórios e colonizam o tecido cortical, tanto intercelular quanto intracelular (KIRIACHEK et al., 2009). Dentro do córtex, as hifas entram no apoplasto e crescem lateralmente ao longo do eixo penetrando pelas células corticais da raiz interna diferenciando-se em arbúsculos que são estruturas responsáveis pela troca de metabólitos entre os simbiontes o qual podem formar dois tipos: *Arum* e *Paris*. No primeiro, as hifas crescem intercelularmente de maneira linear e longitudinal ao longo do espaço cortical, formando estruturas finas e muito ramificadas; No segundo, as hifas são mais grossas enoveladas intracelularmente (BERBARA et al., 2006; SIQUEIRA et al., 2010). Algumas espécies da família Glomeraceae também têm a capacidade de formar as vesículas, estruturas ricas em lipídeos cuja função é a de reservar os nutrientes dos fungos na raiz do apoplasto (MOREIRA; SIQUEIRA. 2006; BUCKING et al., 2012; MENSAH, 2016).

Além da colonização micorrízica por parte dos FMA e do crescimento interno à raiz do hospedeiro, os FMA formam um micélio externo que cresce no solo produzindo uma extensa rede micelial que explora microambientes não alcançados pelas raízes não colonizadas (CRUZ et al., 2008). As hifas extrarradiciais, por sua vez, são responsáveis pela exsudação (ou incorporação em suas paredes celulares, bem como dos esporos) da glicoproteína chamada de glomalina, considerada uma proteína estável e insolúvel (RILLIG et al., 2003), que além de contribuir com a estabilidade de agregados e fertilidade do solo, é muito importante, porque constitui um meio de armazenamento em longo prazo do carbono e nitrogênio no solo (WRIGHT et al., 2007; FOKOM et al., 2012). A glomalina facilita a absorção dos nutrientes da solução solo para depois ser transportados para o micélio intrarradicial e transferidos para o hóspede (CRUZ et al., 2008; RAMOS et al., 2008; RAMOS et al., 2009).

Os FMA ocupam um importante nicho ecológico na agricultura sustentável, pois são influenciados pelas práticas de manejo do solo como adubações. No entanto, a monocultura extensiva e uso indiscriminado de agrotóxicos afetam negativamente no comportamento das maiorias de espécies (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

O fósforo (P) é um macronutriente muito importante na composição das moléculas orgânicas como ácidos nucleicos, ATP e fosfolipídios, sendo muito abundante na biomassa após o N, embora seja um dos mais escassos elementos na

litosfera. Em geral, a adubação fosfatada tem baixa eficiência, pois apenas uma fração do P aplicado é adquirida pelas raízes, deixando uma quantidade substancial a ser acumulada no solo, uma vez que não está prontamente disponível (CAMPOS et al., 2018).

O P é um dos principais reguladores do estabelecimento e da eficiência da simbiose dos FMA, como a colonização nas raízes. No entanto, as respostas de crescimento diminuem com o aumento da disponibilidade de P no solo (SMITH; READ, 2008; RICHARDSON et al., 2011; SMITH et al., 2011).

O FMA também pode fornecer outros macro e micronutrientes às plantas como N, K, Mg, Fe, Cu e Zn que normalmente estão presentes no solo em forma solúveis, especialmente em baixas concentrações (CLARK; ZETO, 2000; GOVINDARAJULU et al., 2005; KAHNEH et al., 2006; SMITH; READ, 2008). Além disso, esses microorganismos podem melhorar a resistência e capacidade de sobrevivência da planta em um ambiente adverso, e assim atuar cumprindo um papel crítico no processo de recuperação e reconstrução das vegetações gravemente perturbadas (BEDINI et al., 2010; MILLER; JASTROW, 1990).

As plantas também podem modular a simbiose, estimulando a atividade metabólica fúngica e a ramificação de hifas entre outros efeitos (BÜCKING; SHACHAR-HILL, 2005; BESSERER et al., 2006), através da exsudação das estrigolactonas (AKIYAMA et al., 2005; PARNISKE, 2008; LÓPEZ-RÁEZ et al., 2017), hormônio que contem moléculas multifuncionais, que regulam a arquitetura da planta (tanto parte aérea como de raiz) e o desenvolvimento reprodutivo (GÓMEZ-ROLDÁN et al., 2008, KAPULNIK et al., 2011, RUYTER-SPIRA et al., 2011, KOHLEN et al., 2012). Atua transmitindo sinais, como alternativa a um pedido de ajuda sob condições desfavoráveis (LÓPEZ-RAEZ et al., 2011).

Para a classificação taxonômica dos FMA, é necessário o isolamento dos esporos dos solos/raízes, sendo eles coletados em campo ou “culturas armadilhas” e mantidos até esporulação. Os esporos são obtidos por técnicas como peneiramento e decantação (GERDEMANN; NICOLSON 1963; SIEVERDING 1991), centrifugação diferencial de água com sacarose por duas vezes (ALLEN et al., 1979; IANSON e ALLEN 1986). Finalmente, após o isolamento dos esporos são necessárias observações para sua identificação morfológica e molecular. A apropriada interpretação dos FMA é realizada através do acesso a bases de dados disponíveis, tais como INVAM.

Desde o início dos estudos taxonômicos, a classificação dos FMA apresentaram critérios baseados no desenvolvimento ou a gênese dos esporos (formação assexuada), sendo muito distinto de outros fungos do solo (cor, tamanho, parede celular, etc.). Mas em 1974 Gendermann e Trappe, criaram a base morfológica utilizada até hoje pelos taxonomistas (GOTO, 2009). A identificação morfológica dos esporos de FMA é geralmente baseada nas variações fenotípicas, como cor, forma, dimensão do esporo, detalhes da parede e espessura das camadas dos esporos (WALKER; VESTBERG, 1998).

Além de demandar tempo e experiência, muitas vezes essas diferenças não são sempre evidentes para este tipo de identificação sendo ineficientes para a caracterização ao nível de espécie (NOVAIS et al., 2010). Embora algumas espécies apresentam dimorfismo, ou seja, a formação de dois tipos diferentes de esporos, a maioria é glomoide e acaulosporoide.

Estudos de técnicas de biologia molecular têm sido desenvolvidos, baseados na reação em cadeia de polimerase (PCR). O emprego da técnica do PCR é possível produzir relativamente grandes quantidades de DNA para análise, a partir de amostras com concentrações ínfimas de DNA total. As análises genéticas têm permitido a identificação dos FMA em raízes colonizadas, bem como a definição das relações filogenéticas de isolados de FMA na forma de esporos (RENKER et al., 2003; SHEPHERD, et al., 2007; CROLL et al., 2008; AVIO et al., 2009).

As sequências do gene rRNA 18S têm sido utilizada para a identificação taxonômica dos FMA (HELGASON et al., 1998; ROSENDAHL; STUKENBROCK, 2004), coincidindo com a taxonomia baseada em morfologia dos esporos (MORTON; REDECKER, 2001; SCHWARZOTT; WALKER; SCUSSLER, 2001; WALKER et al., 2004).

O uso desses estudos moleculares ainda é limitado, portanto até obter mais conhecimento no campo da biologia molecular, a identificação dos FMA ainda será baseada, principalmente na caracterização morfológica dos esporos. Pela importância ecológica e econômica dos FMA, é fundamental a identificação entre espécies para aplicabilidade do seu potencial em benefício da agricultura (MERGULHÃO et al., 2014.).

2.3. FMA NA CULTURA DE *Araucaria angustifolia*

O primeiro relato relacionado com a presença dos fungos micorrízicos no Brasil datam no início do século XIX, mas foi J. Rick que entre os anos 1906 a 1937, encontrou nas florestas de Pinus no Rio Grande do Sul, fungos com características ectomicorrízicas (WARTCHOW et al., 2007). No entanto, em 1950, Milanez e Monteiro relataram por primeira vez a presença de micorrizas no pinheiro do Paraná (SIQUEIRA et al., 2010). Os autores observaram a presença dos FMA nas raízes da espécie através de cortes anatômicos. No ano seguinte, Santos (1951) observou que as raízes da araucária apresentavam tamanho e forma modificada, com estruturas arredondadas (nódulos radiculares). No começo pensou-se que os nódulos tinham a função de fixar o nitrogênio atmosférico, como acontece nas leguminosas. Até o presente momento, essa hipótese não foi provada e se desconhece a sua verdadeira função. Sabe-se que toda essa extensão da raiz pode ser colonizada por FMA, inclusive os nódulos (FIGURA 2) (CARDOSO; VASCONCELLOS, 2015).



FIGURA 2 – COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA DO NÓDULO DA RAIZ DE MUDA DE *Araucaria angustifolia*.
FONTE: O autor (2017).

Os relatos existentes confirmam a ocorrência natural dos FMA na araucária e sua capacidade micotrófica, portanto importantes pesquisas da ocorrência dos FMA na espécie, começaram na década de 1990, precisamente com Bononi et al. (1990). Esses autores identificaram 15 espécies do jardim botânico de São Paulo, as quais as espécies *Glomus citricolum*, *G. halonatum*, *G. reticulatum* foram citados por primeira vez no Brasil. Enquanto as espécies mais frequentes foram *G. macrocarpum*, *G. maculosum*, *A. morrowiae* e *Gigaspora* sp.

No presente século, Breuninger et al. (2000) encontraram 13 e 6 espécies nas floresta nativa e campos de araucária no Rio Grande do Sul, sendo identificados na primeira floresta, os gêneros *Entrophospora*, *Scutellospora*, *Glomus* e *Acaulospora*. Já no campo foram identificados somente os dois últimos gêneros. A colonização radicial no primeiro ecossistema foi de 60% e no campo 38%, acontecendo da mesma maneira com o número de esporos de 300 a 150-180 esporos em 50 g de solo. Também foi observado para ambas áreas a presença de vesículas, arbúsculos, apressórios e a penetração característica das hifas de FMA. O tipo de colonização foi classificado como *Arum-type*, sendo reportada pela primeira vez em *Gymnosperma*. Outro trabalho para o caso das florestas de araucária em Santa Catarina classificaram a colonização como do tipo *Paris-type* (ANDRADE et al., 2000).

Sendo que em outros estudos em ecossistemas com araucária que a densidade de esporos é maior na floresta nativa em relação a áreas reflorestadas (MOREIRA-SOUZA et al., 2003; MOREIRA et al., 2007a), mas o inverso também já foi observado (MOREIRA et al., 2006; ZANDAVALLI et al., 2008). Esses comportamentos da mudança das densidades e na distribuição de esporos estão associados às modificações das condições edáficas, como das alterações da cobertura vegetal e das propriedades físicas e químicas do solo, além do histórico das áreas.

Enquanto os resultados encontrados em relação à colonização radicial nas florestas de araucária, obtiveram valores muito baixos de 4 a 11%, não foram verificadas diferenças tanto em florestas nativas ou reflorestadas (PEREIRA, 2012). Moreira et al. (2006) também não encontraram diferenças significativas na colonização das florestas nativa, replantada e impactada por fogo, sendo que no inverno os valores de colonização variaram de 10,7 a 14,5% e na primavera foram superiores de 25 a 40% nas mesmas áreas de estudo. Já para outros autores, foram

observadas que a colonização radicular pelos FMA nas florestas nativas eram maiores que nas replantadas (BREUNINGER et al., 2000; MOREIRA-SOUZA et al., 2003; MOREIRA et al., 2007a; MOREIRA et al., 2007b; ZANDAVALLI et al., 2008).

Outro aspecto que deve ser considerado é a presença das raízes que ficam sobre a superfície do solo ou até crescendo entre meio dos troncos em decomposição, com porcentagens de colonização que variam entre 31 e 52% e número de esporos entre 27 a 164 esporos em 50 g de substrato seco com grande destaque dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* (MOREIRA et al., 2016).

Outros estudos dos FMA com florestas de araucária no Brasil aparte da região sul onde ainda existem poucas áreas esparsas ainda intactas como é o caso do estado de São Paulo, exatamente na localidade do Parque Estadual de Campos de Jordão. Nessas localidades fica evidente a preocupação com a extinção dos ecossistemas (natural ou reflorestada) relacionados com as condições edafoclimáticas e o comportamento das diferentes espécies de FMA presentes. Segundo Souza (2001), a diversidade de FMA deste ecossistema foi maior que os encontrados por Zandavalli (2001), no Rio Grande do Sul, sendo identificados 26 táxons na rizosfera de araucária, considerando-se a floresta nativa e replantada.

Por outro lado, Moreira et al. (2006) estudando em Campos de Jordão nos três ecossistemas (natural, replantado e impactado pela ação antrópica após queima accidental), em duas épocas diferentes (outono e primavera), encontraram 26 espécies de FMA, sendo identificados os gêneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Kuklospora*, *Gigaspora* e *Scutellospora*. Os dois primeiros gêneros foram mais comuns em todos os ecossistemas, assim como também na região do Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira (PETAR), município de Apiaí, SP.

Com relação à diversidade de espécies, nas diferentes florestas de araucária, sabe-se que predominam os gêneros de FMA *Acaulospora* e *Glomus* e as principais espécies encontradas são: *Kuklospora colombiana*, *Paraglomus occultum*, *Scutellospora calospora*, *Scutellospora gilmorei*, *Scutellospora pelúcida*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora gerdemannii*, *Acaulospora mellea*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora decipiens*, *Glomus clarum*, *Glomus diaphanum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus microcarpum* e *Glomus macrocarpum* (BONONI et al., 1990; BREUNINGER et al., 2000; SOUZA, 2001; MOREIRA-SOUZA et al., 2003; ZANDAVALLI, 2008; ALBUQUERQUE, 2003; MOREIRA et al. 2007a; MOREIRA et al., 2007b; ZANGARO e MOREIRA, 2010).

2.4. IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUALIDADE DE ARAUCÁRIA EM PRESENÇA DOS FMA

Nos últimos anos a preocupação com o meio ambiente têm se intensificado cada vez mais devido o desmatamento de florestas nativas, sendo assim, há demanda para a produção de mudas de espécies florestais com a visão da recuperação de áreas degradadas (JOSÉ et al., 2005), representando um papel importante no plano econômico, social e energético (STEFFEN et al., 2010).

Os mais recentes avanços na pesquisa sobre produção de mudas de boa qualidade estão relacionados com uso da inoculação dos FMA. Esta tecnologia é prática e tem potencial de aplicação (SAGGIN JUNIOR, 2016), pois nos diversos resultados de estudos com plantas micorrizadas, elas apresentam maior crescimento e desenvolvimento em tempo consideravelmente reduzido, maior índice de sobrevivência em plantio definitivo, maior resistência aos estresses hídricos e melhor absorção de nutrientes, garantindo as características desejadas como qualidade genética e fisiológica. Isso proporciona sucesso na produção de mudas para a obtenção de plantações com boa produtividade e qualidade da matéria prima (MOREIRA-SOUZA et al., 2003; ZANDAVALLI et al., 2004).

Antes do processo da inoculação dos FMA nas mudas, são extraídos os propágulos e esporos de FMA dos locais de plantio com o fim de multiplicá-los em plantas iscas como sorgo, milho, braquiária, amendoim, etc. Metodologias muito usadas para estudos da diversidade de FMA tanto em casa de vegetação como o viveiro, com a finalidade de recuperar as espécies encontradas em campo (MOREIRA et al., 2015).

Alguns estudos relacionados com mudas de *A. angustifolia* com inoculação de FMA têm sido utilizados como uma alternativa muito interessante, já que objetivaram verificar que espécies propiciam o melhor desenvolvimento da cultura, mas ainda quando presente em diferentes concentrações de P, sendo que este elemento em excesso pode inibir a colonização das espécies (MOREIRA; CARDOSO, 2002; ZANDAVALLI et al., 2004; CARDOSO et al., 2010).

O primeiro estudo, com inoculação em mudas de araucária foi feito por Moreira-Souza e Cardoso (2002). Estes autores testaram três espécies de FMA (*Glomus intraradices*, *Gigaspora rosea* e mistura de esporos de floresta nativa de Campos de Jordão, SP) frente a diferentes concentrações de P, chegando à

conclusão, que araucária tem dependência micorrízica até a dose de 150 mg kg⁻¹ de P no solo, e a espécie *Gigaspora rosea* é indicada em doses baixas de P e *Glomus intraradices* em doses altas, também definiram que as mudas micorrizadas apresentavam maiores concentrações de P e menores de N e K que as não micorrizadas, independentemente da espécie inoculada.

Moreira et al. (2007b), após estudar a esporulação e diversidade dos FMA das diferentes florestas de araucária (floresta nativa, replantada e queimada) no estado de São Paulo, inocularam em mudas de milho, amendoim e araucária, sendo neste último onde se obteve os maiores números de espécies destacando o gênero *Glomus*.

Zandavalli et al. (2004), estudando em casa de vegetação, inocularam a espécie *Glomus clarum* em mudas de araucária em substrato esterilizado por um tempo de 21 meses, observaram 81% de colonização radicial e um crescimento com incremento de 312% quando comparado com a testemunha, apresentando grande dependência micorrízica. Nas mesmas condições, mas com inóculos de espécies nativas de FMA de diferentes áreas do estado de São Paulo, Moreira et al. (2007b) verificaram uma média de 33% de colonização radicial e matéria seca muito superiores quando comparadas a testemunha.

Inoculando a espécie *Gigaspora rosea* em doses baixas de P, Azevedo (2010) observou um melhor desenvolvimento nas plântulas com aumento da concentração de N e P na parte aérea. Enquanto Moreira et al. (2012) avaliando o comportamento das espécies de floresta nativa de *Araucaria angustifolia* em diferentes doses de P, não encontraram nenhuma relação entre as doses, número de esporos e colonização radicial, mas observaram que o P influi na quantidade e esporulação de cada espécie.

A utilização de FMA em mudas de araucária pode otimizar a absorção de nutrientes, principalmente o fósforo, diminuindo assim o custo total para a produção de mudas de qualidade, favorecendo o seu crescimento inicial, com isso reduzindo o período necessário para a produção de uma muda.

REFERÊNCIAS

- AKIYAMA, K.; MATSUZAKI, K.; HAYASHI, H. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. **Nature**, v. 435, p. 824–827, 2005.
- AKIYAMA, K.; HAYASHI, H. Strigolactones: Chemical Signals for Fungal Symbionts and Parasitic Weeds in Plant Roots. **Annals of Botany**, v. 97, p. 925-31, 2006.
- ALBUQUERQUE, P. P. **Aspectos ecológicos de populações de fungos micorrízicos arbusculares em reflorestamento e em mata nativa da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2010. Dissertação de mestrado. Universidade do estado de Santa Catarina, Lages, SC. 2010.
- ALIZADEH, O. Mycorrhizal Symbiosis. **Advanced Studies in Biology**, v. 6, n. 3, p. 273-281, 2011.
- ALLEN, M. F.; MOORE, T. S.; CHRISTENSEN, M.; STANTON, N. Growth of vesicular arbuscular mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis* in a defined medium, **Mycologia**, v. 71, p. 666-669, 1979.
- ANDRADE, A.C.S.; QUEIROZ, M.H.; HERMES, R.A.L.; OLIVEIRA, V.L. Mycorrhizal status of some plants of the Araucaria forest and the Atlantic rainforest in Santa Catarina, Brazil. **Mycorrhiza**, v.10, p.131-136, 2000.
- ANJOS, L. O CICLO ANUAL DE CYANOCORAX CAERULEUS EM FLORESTA DE ARAUCÁRIA (PASSERIFORMES: CORVIDAE). **Ararajuba**, v. 2, p. 19-23, 1991.
- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. Micorrizas. **Ciência Rural**, v. 21, p. 441-455, 1991.
- ASCÓN-AGUIAR, C e BAREA, J. M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 68, n. 4, p. 1-24, 1997.
- AVIO, L.; CRISTANI, C.; STRANI, P.; GIOVANNETTI, M. Genetic and phenotypic diversity of geographically different isolates of *Glomus mosseae*. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 55, p. 242-253, 2009.
- AZCÓN-AGUILAR, C e BAREA, J. M. Applying mycorrhizal biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 68, n. 4, p. 1-24, 1997.
- AZEVEDO, P. T. M. **Minhocas, fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em mudas de *Araucaria angustifolia*.** 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.
- BACKES, A. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Brasil – II. **Pesquisas-Botânica**, v. 49, p. 31-51, 1999.
- BANDEL, G.. **O pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia*.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 1966.

BANDEL, G.; GURGEL, J. T. A. Proporção do sexo em pinheiro-brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. Silvicultura - **Revista Técnica do Serviço Florestal do Estado de São Paulo**. p. 209-220, 1967.

BEDINI, S.; TURRINI, A.; RIGO, C.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Molecular characterization and glomalin production of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a heavy metal polluted ash disposal island, downtown Venice. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 758-765, 2010.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. H. M. A. C. **Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição**. v. VIII, p. 53-88. In: FERNANDES, M. S. (ed) Nutrição Mineral de Plantas. SBCS. 1 ed. Viçosa, 432 p. 2006.

BESSERER, A.; PUECH-PAGÈS, V.; KIEFER, P.; GOMEZ-ROLDAN, V.; JAUNEAU, A.; ROY, S.; PORTAIS, J. C.; ROUX, C.; BECARD, G.; SEJALON-DELMAS, N. Strigolactones stimulate arbuscular mycorrhizal fungi by activating mitochondria. **PLOS Biol**, v. 4, e226, 2006.

BONONI, V.L.R., GRANDI, R.A.P., LOPES, S.A.R.L., RODRIGUES, E. & FONSECA, M.P. 1990. Micorrizas vesículo-arbusculares em *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) O. Kuntze. **Revista do Instituto Florestal**, v. 2, p. 87-93, 1990.

BRASIL. Lei Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm> Acesso em: 15 dez. 2018.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instrução Normativa nº 6, de 23 de setembro de 2008. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 145, n. 185, 24 set. 2008. Seção 1, p. 75-83.

BREUNINGER, M.; EINIG, W.; MAGEL, E.; CARDOSO, E.; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brazil Pine (*Araucaria angustifolia* [Bert. O. Ktze.]). **Plant Biology**, v.2, p. 4-10, 2000.

BUCKING, H.; SHACHAR-HILL, Y. Phosphate uptake, transport and transfer by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is stimulated by increased carbohydrate availability. **New Phytologist**, v. 165, p. 899–912, 2005.

BÜCKING H, ABUBAKER J, GOVINDARAJULU M, TALA M, PFEFFER PE, NAGAHASHI G, LAMMERS P, SHACHAR-HILL Y. Root Exudates Stimulate the Uptake and Metabolism of Organic Carbon in Germinating Spores of *Glomus intraradices*. **New Phytologist**, v. 180, p. 684-695, 2008.

BÜCKING, H.; LIEPOLD, E.; AMBILWADE, P. The role of the mycorrhizal symbiosis in nutrient uptake of plants and the regulatory mechanisms underlying these transport processes. **Plant Science**, v. 4, p. 108–132, 2012.

CAMPOS, P.; BORIE, F.; CORNEJO, P.; LOPEZ-RAEZ, J. A.; LOPEZ-GARCIA, A.; SEGUEL, A. Phosphorus acquisition efficiency related to root traits: is mycorrhizal Symbiosis a key factor to wheat and barley cropping? **Front in Plant Science** v. 9, p. 1-21, 2018.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARRETA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. **Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas**. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F. A; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. *Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 153-214.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com Araucária – composição florística e biota do solo**. Piracicaba. FEALQ, 2015. p. 181-202.

CARVALHO, P. E. R.. **Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Embrapa- CNPF, Colombo, 1994. 640 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília: EMBRAPA – SPI, 2003. 1039 p.

CLARK, R. B.; ZETO, S. K. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p. 867–902, 2000.

COLODETE, C. M.; DOBBSS, L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, Santa Teresa, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

ROLL, D.; WILLE, L.; GAMPER, H. A.; MATHIMARAM, N.; LAMMERS, P. J.; CORRADI, N.; SANDERS, I. R. Genetic diversity and host plant preferences revealed by simple sequence repeat and mitochondrial markers in a population of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **New Phytologist**, v. 178, n. 3, p. 672-687, 2008.

CRUZ, C.; CORREIA, P.; RAMOS, A.C.; CARVALHO, L.; BAGO, A.; KLIRONOMOS, J.; MARTINS-LOUÇÃO, M.A. Arbuscular mycorrhiza in plant physiological morphological adaptations. In: Ajit, V, Ed. *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Fuction, Biotechnology, Eco-physiology, Strutucture and Systematics*. Heidelberg, **Springer-Verlag**, 733-754, 2008.

De SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. 2010. **Classificação e taxonomia de fungos micorrizicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil**. p. 15-75 In: SIQUEIRA, J. O.; De SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; eds. *Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. UFLA, 2010. Lavras, MG.

FERREIRA, A. G. *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze: **germinação da semente e desenvolvimento da plântula**. 1977. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo.

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M. C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A. D.; NANA, W. L.; NGONKEU, TCHAMENI, N. S.; NWAGA, D.; TSALA NDZOMO, G.; AMVAM ZOLLO, P. H.. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid Forest zone of south Cameroon. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, p. 69-75, 2012.

FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza Arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. 307 p.

FRANCO, A. M. S.; DILLENBURG, L. R. Ajustes morfológicos e fisiológicos em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 135-144, 2007.

FRANK, A. B.; TRAPPE, J. M. On the nutritional dependence of certain trees on root symbiosis with belowground fungi (an English translation of A.B. Frank's classic paper of 1885). **Mycorrhiza**, v. 15, p. 267–275, 2005.

GARCIA, C.; COELHO, C. M. M.; MARASCHIN, M.; OLIVEIRA, L. M. Conservação da viabilidade e vigor de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze durante o armazenamento. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 857-867, 2014.

GENRE, A.; CHABAUD, M.; BALZERGUE, C.; PUECH-PAGES, V.; NOVERO, M.; REY, T.; FOURNIER, J.; ROCHANGE, S.; BECARD, G.; BONFANTE, P.; BARKER, D. G. 2013. Short-chain chitin oligomers from arbuscular mycorrhizal fungi trigger nuclear Ca^{2+} spiking in *Medicago truncatula* roots and their production is enhanced by strigolactone. **New Phytologist**, v. 198, p. 190–202, 2013.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GÓMEZ-ROLDÁN, V.; FERMAS, S.; BREWER, P. B.; PUECH-PAGÉS, V.; DUN, E. A.; PILLOT, J. P. Strigolactone inhibition of shoot branching. **Nature**, v. 455, p. 189-194, 2008.

GOTO, B. T. **Taxonomia de Glomeromycota: Revisao morfológica, chaves dicotomicas e descricao de novos taxons**. 375 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

GOVINDARAJULU, M.; PFEFFER, P. E.; JIN, H.; ABUBAKER, J.; DOUDS, D. D.; ALLEN, J. W.; BÜCKING, H.; LAMMERS, P. J.; SHACHAR-HILL, Y. Nitrogen Transfer in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. **Nature Magazine**, v. 435. p. 819-823, 2005.

HELGASON, T.; DANIELL, T. J.; HUSBAND, R.; FITTER, A. H.; YOUNG, J. P. W. Ploughing up the wood-wide web?. **Nature**, v. 394, n. 431, p. 431, 1998.

IANSON, D. C.; ALLEN, M. F. The Effects of Soil Texture on Extraction of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungal Spores from Arid Sites. **Mycologia**, v. 78, p164-168, 1986.

IBAMA. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite**. 2014. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/mataatlantica/index.htm>>. Acesso em: 04 set. 2016.

IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). **The IUCN Red List of Threatened Species: *Araucaria angustifolia*** (published in 2013). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>>. Acesso EM: 20 NOV. 2018.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

KAHNEH, E.; RAMEZANPOUR, H.; RAMEZANPOUR, M. R.; HAGHPARAST, M. R.; SHIRINFEKR, A. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Phosphorus Supplement on Leaf P, Zn, Cu and Fe Concentrations of Tea Seedlings. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v.4, n.1, p. 53-58, 2006.

KAPULNIK, Y.; DELAUX, P. M.; RESNICK, N.; MAYZLISH-GATI, E.; WININGER, S.; BHATTACHARYA, C. Strigolactones affect lateral root formation and root-hair elongation in *Arabidopsis*. **Planta**, v. 233, p. 209-216, 2011.

KINDEL, E. A. I. **Padrões de dispersão e disposição espacial de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze e suas relações com aves e mamíferos na Estação Ecológica de Aracuri, Esmeralda, RS**. 1996. 66 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C.; PERES, V. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1-16, 2009.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, p. 17-44, 1960.

KOCH, Z.; CORRÊA, M.C. **Araucária: A floresta do Brasil Meridional**. 2. Ed. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2010. 168 p.

KOHLER, W.; T. CHARNIKHOVA, T.; LAMMERS, M.; POLLINA, T.; TÓTH, P.; HAIDER, I.; POZO, M. J.; MAAGD, R. A. de; RUYTER-SPIRA, C.; BOUWMEESTER, H. J.; LÓPEZ-RÁEZ, J. A. The tomato CAROTENOID CLEAVAGE DIOXYGENASE8 (SICCD8) regulates rhizosphere signaling, plant architecture and affects reproductive development through strigolactone biosynthesis. **New Phytologist**, v. 196, p. 535-547, 2012.

LASSERE, S. R., VAIRETTI, M., LASSERE, E. N. E. Crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em distintos tipos de solos de Puerto Piray, Misiones. **IDIA**, n. 7, p. 36-45, 1972.

LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; POZO, M. J.; GARCÍA-GARRIDO, J. M. Strigolactones: a cry for help in the rhizosphere. **Botany**, v. 89, p. 513-522, 2011.

LÓPEZ-RÁEZ, A.; SHIRASU, K.; FOO, E. Strigolactones in plant interactions with beneficial and detrimental organisms: the yin and the yang, **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 6, p. 527-537, 2017.

MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2a. ed. Lages: Artes Gráficas Princesa, 1994. 225 p.

MENSAH, J. A. **Cooperation and Punishment in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Implications for Resource Exchange & Biological Market Dynamics** (2016). Theses and Dissertations. Paper 1012.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; SILVA, M. V.; LYRA, M. C. C. P.; FIGUEREIDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B.; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Arapirina, PE, Brasil. **Hoehnea**, v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 579-584, 1990.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; GOMES-DA-COSTA, S. M. CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 13, p. 211-215, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2ª ed. Lavras: Universidade Federal Lavras; 2006.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; ; CARDOSO, E. J. B. N. Spore density and root colonization by mycorrhizal fungi in preserve dor disturbed *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Ecosystems. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 380-385, 2006.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; GOMES-da-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 393-399, 2007a.

MOREIRA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TSAI, S. M.; GOMES-da-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil Pine in the Field and in the greenhouse. **Mycorrhiza**, v. 17, p. 519-526, 2007b.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Doses de fósforo determinam a prevalência de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia*. **Ciência florestal**, v. 22, n. 4, p. 813-820, 2012.

MOREIRA, M.; BONFIM, J. A.; VALADARES, R. B. S.; CARDOSO, E. J. B. N. **Micorrizas na floresta com Araucária**. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. Floresta com Araucária: Composição florística e biota do solo. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 181-196.

MOREIRA, M.; ZUCCHI, M. I.; GOMES, J. E.; ALVES-PEREIRA, A.; CARDOSO, E. J. *Araucaria angustifolia* aboveground roots presented high arbuscular mycorrhizal fungal colonization and diversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Pedosphere**, v. 26, p. 561–566, 2016.

MORTON, J. B.; REDECKER, D. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera Archaeospora and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. **Mycorrhiza**, v. 93, p. 181-195, 2001.

MOSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Early growth of Brazilian Pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] O. Kuntze) in response to soil compaction and drought. **Plant Soil**, v. 258, p. 293–306, 2004.

MULLER, J. A. **A influência de roedores e aves na regeneração da Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kutze**. 1986. 65 f. Dissertação de mestrado em engenharia-florestal Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.

NOURI, E.; BREUILLIN-SESSOMS, F.; FELLER, U.; REINHARDT, D. Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in petunia hybrida. **Plos one**, v. 9, p. 1-14, 2014.

NOVAIS, C.B.; SOUZA, F. A.; SIQUEIRA, J. O. Caracterização fenotípica e molecular de esporos de fungos micorrízicos arbusculares mantidos em banco de germoplasma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p. 886-896, 2010.

PAISE, G.; VIEIRA, E. M. Produção de frutos e distribuição espacial de angiospermas com frutos zoocóricos em uma Floresta Ombrófila Mista no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, p. 615-625, 2005.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology**, v. 6, n 10, p. 763-775, 2008.

PAWLOWSKA, T. E.; TAYLOR, J. W. Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. **Nature**, v. 427, p. 733–737, 2004.

PRACIAK, A.; PASIECZNIK, N.; SHEIL, D.; VAN HEIST, M.; SASSEN, M.; CORREIA, C. S.; DIXON, C.; FYSON, G.; RUSHFORD, K.; TEELING, C. (eds). **The CABI encyclopedia of forest trees**. Oxfordshire: CABI, 2013, 531 p.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 57, p. 411-417, 2013.

PEREIRA, J. M. **Atributos biológicos como indicadores de qualidade do solo em Floresta de Araucária nativa e reflorestada no Estado de São Paulo**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012.

RAMOS, A. C.; FAÇANHA, A. R.; FEIJÓ, J. A. Proton (H⁺) flux signature of the presymbiotic development of the arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 178, p. 177-88, 2008.

RAMOS, A. C.; LIMA, P. T.; DIAS, P. N.; KASUYA, M. C. M.; FEIJÓ J. A. A pH signaling mechanism involved in the spatial distribution of calcium and anion fluxes in ectomycorrhizal roots. **New Phytologist**, v. 181, p. 448-462, 2009.

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L. E. Glomalean fungi from the Ordovician. **Science**, v. 289, p. 1920-1921, 2000.

RENKER, C.; HEINRICHS, J.; KALDORF, M.; BUSCOT, F. Combining nested PCR and restriction digest of the internal transcribed spacer region to characterize arbuscular mycorrhizal fungi in roots from the field. **Mycorrhiza**, v. 13, n 4, p. 191-198, 2003.

RICHARDSON, A.E.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVEY, P. R.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; SIMPSON, R. J. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. **Plant and Soil**, v. 349, p. 121-156, 2011.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to landuse change. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, p. 293-299, 2003.

ROSENDAHL, S.; STUKENBROCK, E. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in undisturbed vegetation revealed by analyses of LSU r DNA sequences. **Molecular Ecology**, v. 13, p. 3179-3186, 2004.

ROSADO, R.M.; FERREIRA, A.G.; MARIATH, J.E.A. & COCUCCHI, A.R., 1994. Amido no megagametofito de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze: degradação durante a germinação e o desenvolvimento do esporófito. **Acta Botanica Brasilica**, v. 8, p. 35-43, 1994.

RUYTER-SPIRA, C.; KOHLEN, W.; CHARNIKHOVA, T.; VAN ZEIJL, A.; VAN BEZOUWEN, L.; RUIJTER, N. de. Physiological effects of the synthetic strigolactone

analog GR24 on root system architecture in *Arabidopsis*: another belowground role for strigolactones?. **Plant Physiology**, v. 155, p. 721-734, 2011.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. (1990). "Manual for identification of VA mycorrhizal fungi," Synergistic Publications, Gainesville, Florida.

SCHWARZOTT, D.; WALKER, C.; SCHUSSLER, A. *Glomus* the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 21, p. 190-197, 2001.

SHEPHERD, M.; NGUYEN, L.; JONES, M. E.; NICHOLS, J. D.; CARPENTER, F. L. A method for assessing sequence variation. *Planta and Soil*. **Dordrecht**, v. 290, p. 259-268, 2007.

SIEVERDING, E. **Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn, Germany: GTZ, 1991. 371 p.

SILVA, H.D.; BELLOTE, A. F.J.; FERREIRA, C. A.; BOGNOLA, I. A. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, PR., v. 43, p. 61-74, 2001.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do Solo**. MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, Brasília, 1988, p. 125-177.

SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. (2008). **Mycorrhizal symbiosis**, 3rd ed., London: Academic Press, 785 p.

SMITH, S.E.; JAKOBSEN, I.; GRØNLUND, M.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. **Plant Physiologist**, v. 156, p. 1050-1057, 2011.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A. **Demografia, fenologia e ecologia da dispersão de sementes de *Araucaria angustifolia* em uma população relictual em Campos do Jordão, SP**. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2001.

SOUZA, M. M. S. R. **Ecofisiologia de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia***. 2001. 108 f. Tese de Doutorado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, 2001.

SOUZA, M. I. F.; SALGUEIRO, F.; CARVANALE-BOTTINO, M.; FÉLIX, D. B.; ALVES FERREIRA, M.; BITTENCOURT, J. V. M.; MARGIS, R. Patterns of genetic diversity in southern and southernwest *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze relict populations. **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, n. 3, p. 546-556, 2009.

STAHL, J. A.; LOBATO, L. P.; BOCHI, V. C.; KUBOTA, E. H.; GUTKOSKI, L. C.; EMANUELLI, T. Physicochemical properties of Pinhão (*Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze) starch phosphates. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 1206-1214, 2007.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K.; ECKHARDT, D. P. Micorrização das mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden comercializadas no município de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 25-35, 2010.

TAMASLOUKHT, M.; SÉJALON-DELMAS, N.; KLUEVER, A.; JAUNEAU A.; ROUX C.; BÉCARD, G.; FRANKEN, P. Root Factors Induce Mitochondrial Related Gene Expression and Fungal Respiration During Developmental Switch from Asymbiosis to Presymbiosis in the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Gigaspora rosea*. **Plant Physiology**, v. 131, p. 1468-1478, 2003.

WALKER, C.; VESTBERG, M. Synonymy amongst the arbuscular mycorrhizal fungi: *Glomus claroideum*, *G. maculosum*, *G. multisubstensum* and *G. fistulosum*. **Annals of Botany**, v. 82, p. 601-624, 1998.

WALKER, C.; BLASZKOWSKI, J.; SCHWARZOTT, D.; SCHUSSSLER, A. *Gerdemannia* gen. nov., a genus separated from *Glomus*, and *Gerdemanniaceae* fam. nov., a new Family in the Glomeromycota. **Mycological Research**, v. 108, p. 707-718, 2004.

WARTCHOW, F.; TULLOSS, R. E.; CAVALCANTI, M. A. Q. The discovery of *Amanita lilloi* in Brazil. **Mycotaxon**, v. 99, p. 167–174, 2007.

WREGE M. S.; FRITZSON, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, A. de.; SOUSA, L. P. de; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V. de; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S. SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, p. 331–46, 2017.

WRIGHT, S. F.; GREEN, V. S.; CAVIGELLI, M. A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 546-549, 2007.

XIE, X.; WENG, B.; CAI, B.; DONG, Y.; YAN, C. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth and nutrient uptake of *Kandelia obovate* (Sheue, Liu & Yong) seedlings in autoclaved soil. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 162–171, 2014.

ZANDAVALLI, R. B. **Aspectos ecológicos e fisiológicos de micorrizas em *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze**. 2001. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; SOUZA, P. V. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**, v. 25, p. 245-255, 2004.

ZANDAVALLI, R. B.; STURMER, S. L.; DILLENBURG, L. R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forest with *Araucaria* in Southern Brazil. **Hoehnea**, v. 35, p. 63-68, 2008.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. de (Ed.). **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília: Embrapa, 2017. p. 15-39.

ZANGARO, W.; MOREIRA, M. **Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária**. In: Siqueira, J. O.; Souza, F. A.; Cardoso, E. J. B. N.; Tsai, S. M. editores. *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras: Editora UFLA; 2010.

3 CAPITULO I: COLONIZAÇÃO DE RAÍZES DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. KTZE. POR FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

RESUMO

Com este trabalho objetivou-se identificar a diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) presentes nos substratos, a fim de avaliar a esporulação e colonização micorrízica em mudas de araucária de diferentes idades. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (meio, um, dois, três e cinco anos de idade) com cinco repetições cada. Foram coletados 100 g de solos e raízes finas de vasos com mudas de araucária provenientes de sementes. Determinou-se a diversidade, densidade de esporos e colonização micorrízica de FMA, por meio de identificação morfológica de esporos. Os dados foram submetidos às análises de variância e redundância (RDA). Identificaram-se a presença de pelo menos oito espécies; *Acaulospora scrobiculata*, *Dentiscutata heterogama*, *Gigaspora* sp., *Glomus spinuliferum* e quatro espécies pertencentes ao gênero *Glomus* spp., sendo esse gênero quem apresenta maior predominância e diferencia-se devido estar em maior quantidade e número de espécies. Enquanto que na eficiência micorrízica, as espécies de FMA apresentam alta colonização radicial em mudas a partir de um ano.

Palavras chaves: Pinheiro do Paraná. Diversidade. Simbioses, Esporos.

3 CHAPTER I: COLONIZATION OF ROOTS OF SEEDLINGS OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. KTZE. BY ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI

ABSTRACT

The aim of this study was to identify the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) present in the substrates in order to evaluate the sporulation and mycorrhizal colonization in araucaria seedlings of different ages. The experiment was mounted in a completely randomized design with five treatments (medium, one, two, three and five years old) with five replicates each. 100 g of soil and fine roots of pots were collected with araucária seedlings from seeds. The diversity, spore density and mycorrhizal colonization of AMF were determined by morphological identification of spores. The data were submitted to analysis of variance and redundancy (RDA). The presence of at least eight species was identified; *Acaulospora scrobiculata*, *Dentiscutata heterogama*, *Gigaspora* sp., *Glomus spinuliferum* and four species belonging to the genus *Glomus* spp., Being this genus the one that obtain the greater predominance and is differs due to being in greater quantity and number of species. While in the mycorrhizal efficiency, the AMF species present high root colonization in seedlings from one year.

Key-words: Pine of the Paraná. Diversity. Symbioses. Spores.

3.1 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia (Bertol.) Ktze., conhecida como pinheiro do Paraná, é a principal representante da floresta das Araucárias do bioma da mata atlântica (IBGE, 2012). Apresenta grande valor econômico e ecológico além de ser fonte de alimento para a fauna e para o homem, mas nos últimos anos vem sendo classificada como vulnerável na lista de espécies ameaçadas da IUCN (HILTON-TAYLOR, 2000).

Desde a metade do século vinte foram observadas a presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em radicelas de araucária (MILANEZ; MONTEIRO NETO, 1950), no entanto, apenas nos últimos anos a importância em relação a sua associação simbiótica com a espécie tem sido destacada (MOREIRA-SOUZA et al., 2003), pois contribui de forma considerável com o crescimento da planta por meio de um sistema de trocas onde a planta fornece carbono aos FMA e este, em troca, fornece nutrientes minerais, com destaque para o fósforo (SMITH; SMITH, 2011).

Os FMA são microorganismos biotróficos benéficos que estão presentes em mais de 80% das espécies de plantas vasculares do agroecossistema natural (LEE et al., 2013; CARDOSO et al., 2017), melhoram a eficiência da absorção de água e nutrientes pelas raízes e estimulam mecanismos de defesa da planta contra fatores ambientais adversos (GIANINAZZI et al., 2010; SMITH; SMITH, 2012). Por outro lado, os FMA beneficiam-se do processo da fotossíntese para sua reprodução (FOLLI-PEREIRA et al., 2012).

Pouco se sabe da produção de mudas de araucária no Brasil e a interação com os FMA, portanto a necessidade atual de produzir mudas de qualidade no menor período de tempo necessário pode ser favorecida com a presença natural destes fungos na cultura o qual pode ser quantificada tanto pela sua esporulação quanto pela sua colonização.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi identificar a diversidade de espécies de FMA presentes nos substratos, a fim de avaliar a esporulação e colonização micorrízica em mudas de araucária de diferentes idades.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no viveiro do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba-PR (FIGURA 1). Foram coletados solos e raízes de vasos com mudas de diferentes idades de araucária provenientes

de sementes. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (meio, um, dois, três e cinco anos de idade) e cinco repetições cada. As características da análise química dos solos foram realizadas conforme Marques e Motta (2003) e estão apresentadas na TABELA 1.



FIGURA 1. VIVEIRO DO SETOR CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UFPR, CURITIBA-PR, BRASIL.
FONTE: O autor (2018).

TABELA 1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* DE DIFERENTES IDADES.

Atributos	Idades das mudas (anos)				
	Meio	Um	Dois	Três	Cinco
pH	5.5	4.9	5.5	5.2	4.3
Al^{3+} (cmol dm ⁻³)	0.0	0.9	0.0	0.0	2.7
$\text{H}+\text{Al}^{3+}$ (cmol dm ⁻³)	5.1	13.2	7.4	7.2	13.9
Ca^{2+} (cmol dm ⁻³)	4.3	6.1	9.4	7.1	3.0
Mg^{2+} (cmol dm ⁻³)	1.8	3.7	4.3	2.9	1.6
K^{+} (cmol dm ⁻³)	1.1	0.3	1.0	0.7	0.2
P (mg dm ⁻³)	16.7	78.2	144.5	87.5	79.1
MO (g dm ⁻³)	1.1	7.3	5.5	4.0	5.3

pH (CaCl_2 0.01 mol L⁻¹); Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} (extraído com KCl 1mol L⁻¹); $\text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$ (extração por acetate de cálcio 0.5 mol L⁻¹); K^{+} e P (Extração de Mehlich-1); matéria orgânica (MO) (Método volumétrico por dicromato de potássio).

Os esporos foram extraídos de 100 g de solo suspenso em 100 ml de Pirofosfato de sódio 10% durante 60 minutos. A suspensão foi liquefeita em liquidificador por 10 segundos e peneirada em malhas de 500 e 53 μm colocadas uma sobre a outra (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), e adicionado solução de sacarose 70% e centrifugado duas vezes, durante quatro minutos (JENKINS, 1964), e passado novamente por peneiras de malha de 250 e 50 μm .

Para a identificação, os esporos foram separados em grupos de acordo com as características morfológicas em lâminas semipermanentes preparados com PVLG (álcool, ácido láctico e glicerol) (MORTON et al., 1993) e o reagente Melzer (KOSKE; TESSIER, 1983). Posteriormente, foram observadas em microscópio ótico, sendo os esporos identificados sob lupa de acordo com os critérios propostos pelo Invam (2016).

Foram selecionadas as raízes mais finas e mantidas em KOH 10% por 24 horas, após tratadas em banho maria a 80 °C por uma hora. Para o clareamento das mesmas foi adicionado H_2O_2 e em seguida foram lavadas e coradas com tinta de caneta azul, sendo mantidas novamente em banho maria por cinco minutos. E por último, para sua conservação foi adicionado lactoglicerol. Na contagem da colonização micorrízica, as raízes foram colocadas em placa quadriculada 1x1 cm com uso do microscópio estereoscópico, segundo a metodologia descrita por Giovanetti e Mosse (1980).

A abundância de esporos de FMA e a colonização radicular foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Utilizando como variável explicativa as espécies de esporos de FMA e análises químicas dos solos, por meio de análises de Redundância (RDA), com o programa CANOCO versão 4.5.

3.3 RESULTADOS

As espécies de esporos de FMA identificadas nos vasos das mudas de araucária de diferentes idades estão apresentadas na TABELA 2 e FIGURA 2. Observa-se a presença dos esporos com as seguintes características morfológicas: *Acaulospora scrobiculata* de coloração subhialino, de formato globoso e tamanho entre 100 a 160 μm ; *Dentiscutata heterogama* de coloração alaranjado escuro, de formato subgloboso e tamanho de 120 a 200 μm ; *Gigaspora* sp., de coloração creme, de formato globoso e tamanho entre 250 a 400 μm ; *Glomus spinuliferum* de

coloração amarelo, formato globoso e tamanho de 120-160 μm e quatro espécies pertencentes ao gênero *Glomus* spp, variando de colorações entre vermelho e alaranjado, de formatos globosos e alongados que variam de 90 a 190 μm . Confirmando-se pelo menos a presença de oito diferentes espécies com predominância das duas últimas espécies independente da idade das mudas.

TABELA 2. NÚMERO MÉDIO DE ESPOROS DE ESPÉCIES DE FMA EM 100 g DE SOLO DE MUDAS DE *Araucaria angustifolia* DE DIFERENTES IDADES.

Espécies FMA	Idades das mudas (anos)				
	Meio	Um	Dois	Três	Cinco
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	13 ^{b*}	46 ^{ab}	44 ^{ab}	70 ^a	33 ^b
<i>Dentiscutata heterogama</i>	11 ^a	16 ^a	15 ^a	17 ^a	15 ^a
<i>Gigaspora</i> sp.	9 ^b	29 ^a	8 ^b	12 ^b	11 ^b
<i>Glomus spinuliferum</i>	31 ^b	114 ^a	53 ^b	129 ^a	118 ^a
<i>Glomus</i> sp.1	40 ^{ab}	28 ^b	40 ^{ab}	62 ^a	34 ^{ab}
<i>Glomus</i> sp.2	91 ^a	142 ^a	55 ^a	161 ^a	141 ^a
<i>Glomus</i> sp.3	101 ^c	187 ^a	82 ^c	111 ^{bc}	176 ^{ab}
<i>Glomus</i> sp.4	48 ^b	153 ^a	57 ^b	73 ^b	148 ^a
Total esporos	344 ^b	715 ^a	355 ^b	635 ^a	676 ^a

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dentre todas as espécies de esporos do gênero *Glomus* spp, estas apresentaram variação entre si com aumento da população de indivíduos e com o aumento da idade das mudas de araucária. Destaca-se a maior presença entre todas, a espécie *Glomus* sp3 e a menor presença para *Glomus* sp1. Para a espécie *Acaulospora scrobiculata*, a maior porcentagem de indivíduos (12%), foi encontrada em mudas de dois e três anos, enquanto a maior média da população foi encontrada em mudas de três anos (70%) e a menor em meio ano (13%). Para o caso das espécies da família Gigasporaceae (*Dentiscutata heterogama* e *Gigaspora* sp.), estes não se diferenciaram na população para mudas de diferentes idades, com média de população de 14 indivíduos.

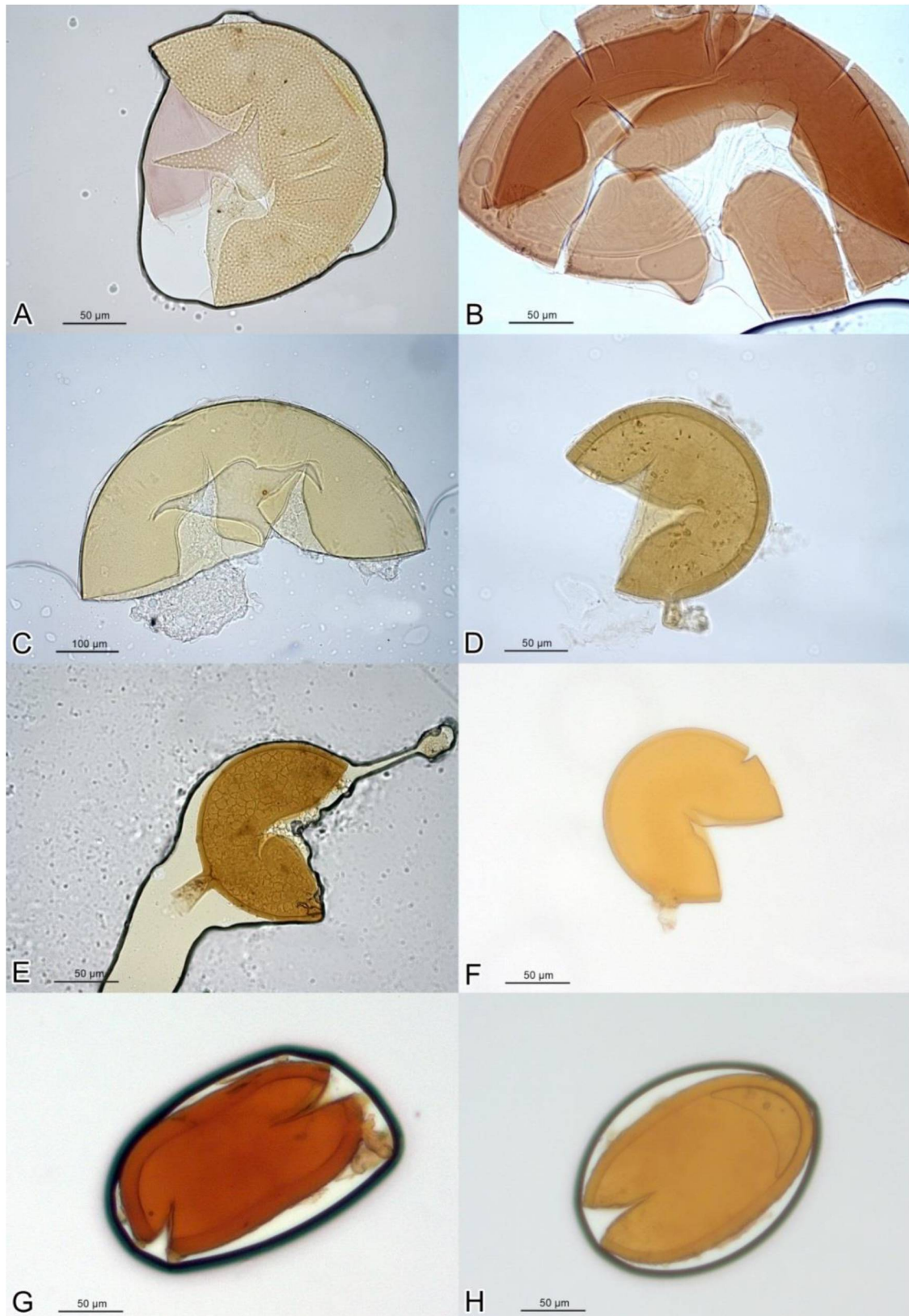


FIGURA 2. ESPOROS IDENTIFICADOS NAS MUDAS DE DIFERENTES IDADES. Onde: *Acaulospora scrobiculata* (A); *Dentiscutata heterogama* (B); *Gigaspora* sp. (C); *Glomus spinuliferum* (D); *Glomus* sp.1 (E); *Glomus* sp.2 (F); *Glomus* sp.3 (G) e *Glomus* sp.4 (H).

FONTE: O autor (2017).

A análise de redundância das várias espécies de FMA nos vasos das mudas, demonstra uma clara separação dos tratamentos das mudas de meio e três anos (Figura 3), a separação em função da presença do Al, H + Al e C no eixo 1 ($p < 0,5$), que explica o 56,9% de toda a variabilidade dos dados. Portanto este eixo foi responsável pelo agrupamento dos tratamentos de um e cinco anos, juntamente com a presença de *Gigaspora* sp, *Glomus Spinuliferum*, *Glomus* sp 2, *Glomus* sp3 e *Glomus* sp4. Enquanto no eixo 2 explica 20,6%, agrupa as espécies *Dentiscutata heterogama*, *Acaulospora scrobiculata* e *Glomus* sp1. Sendo estes influenciados pela maior presença de Mg, P e Ca no solo. Enquanto K e o pH presente no solo apresentaram a menor influência na comunidade de FMA das mudas de araucária.

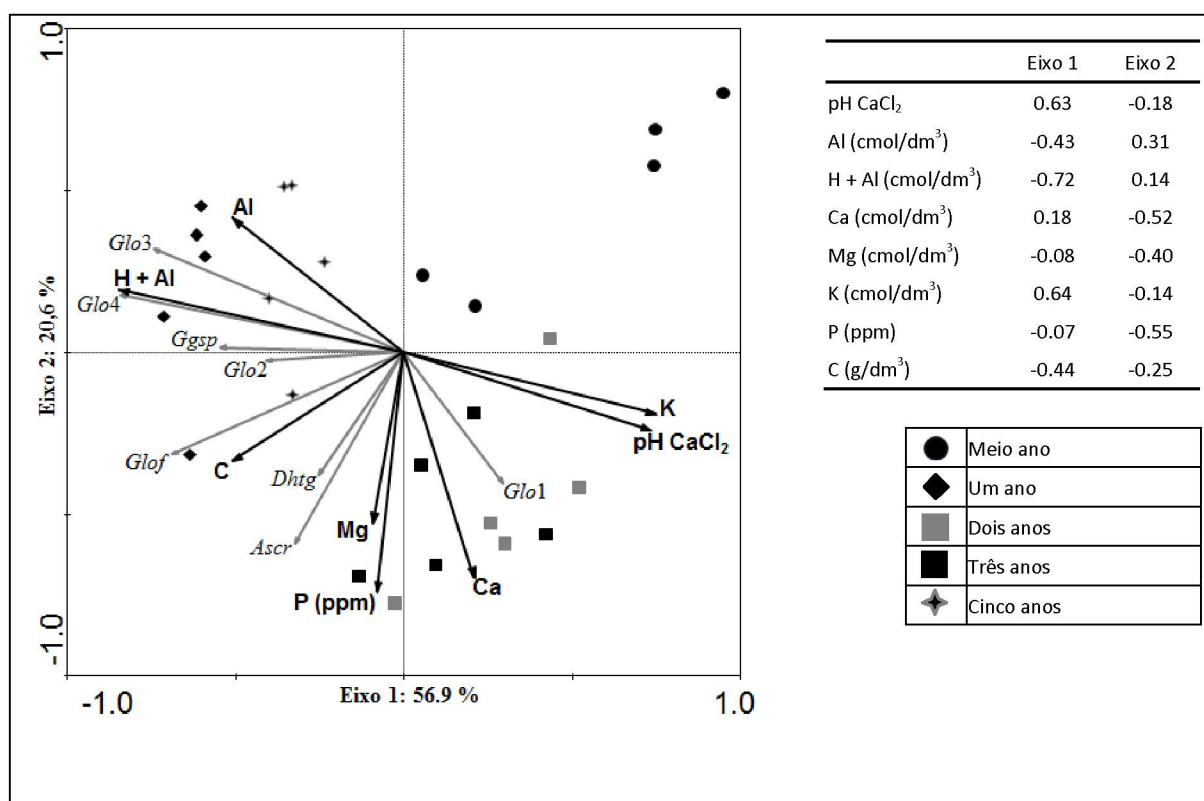


FIGURA 3. ANÁLISES DE REDUNDÂNCIA (RDA), COM VÁRIAS ESPÉCIES DE FMA E ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS OBTIDOS DE MUDAS DE DIFERENTES IDADES. *Ascr*: *Acaulospora scrobiculata*; *Dhtg*: *Dentiscutata heterogama*; *Ggsp*: *Gigaspora* sp.; *Glof*: *Glomus spinuliferum*; *Glo1*: *Glomus* sp.1; *Glo2*: *Glomus* sp.2; *Glo3*: *Glomus* sp.3; *Glo4*: *Glomus* sp.4.

Pelos resultados apresentados nas FIGURAS 4 e 5, observa-se a alta porcentagem de colonização radicial de FMA, que se manifesta a partir de um ano de idade. Destaca-se que as maiores porcentagens de colonização aconteceram nas mudas de um e cinco anos, com uma média de 82% e por outro lado, a menor

porcentagem foi observada em mudas de meio ano com 47%, este último provavelmente devido ao crescimento lento das raízes das mudas de araucária.

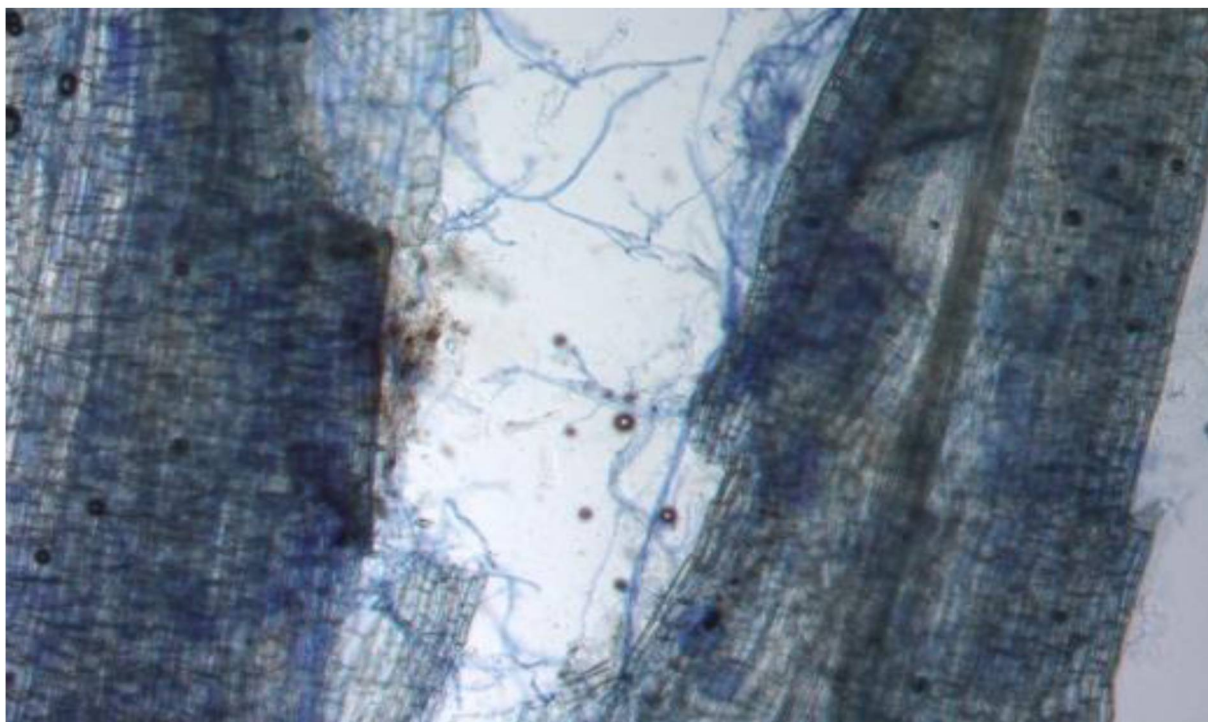


FIGURA 4. COLONIZAÇÃO RADICIAL EM MUDA DE DOIS ANOS DE *Araucaria angustifolia*.

FONTE: O autor (2017).

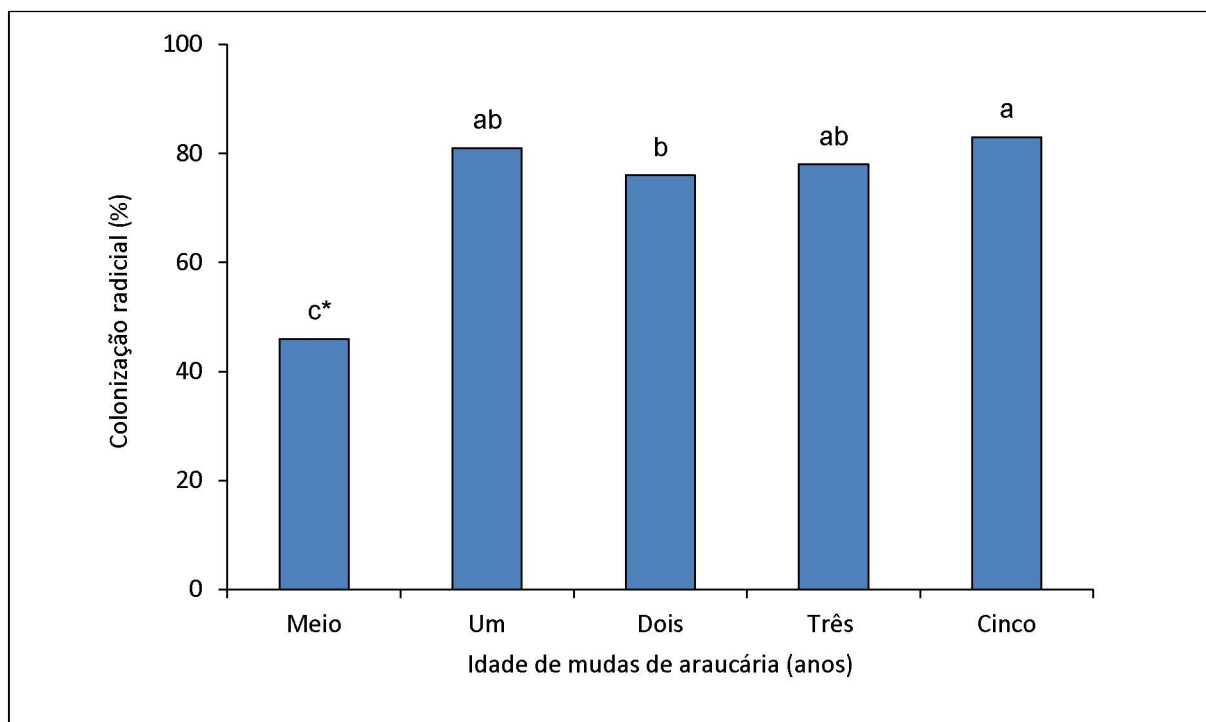


FIGURA 5. PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO RADICIAL DE FMA EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia* DE DIFERENTES IDADES.

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.4 DISCUSSÃO

Os estudos de diversidade de FMA em plantas de araucária sob floresta nativa e com plantas hospedeiras, coletadas em diferentes épocas apresentam diferenças marcantes entre uma e outra localidade, sendo assim que no estado de São Paulo foram encontrados a maior quantidade espécies, já nos estudos de Moreira et al. (2007), Moreira et al. (2009) e Bonfim et al. (2016) identificaram 27, 26 e 58 espécies respectivamente. Enquanto, no Rio Grande do Sul, Breuninger et al. (2000) e Zandavalli et al. (2008) encontraram 13 e oito espécies respectivamente. Para o caso da floresta replantada de araucária o último autor mencionado identificou um total de 16 espécies. Portanto a maior presença da diversidade de espécies de FMA nessas florestas descritas em comparação com o presente estudo pode ser influenciado pela maior heterogeneidade do habitat (MOREIRA-SOUZA et al., 2003) e a capacidade de adaptação das mesmas numa região, clima e solo.

Nos trabalhos em mudas de araucária-iscas desenvolvidas em solo com pH 6,0 e com inoculação de floresta nativa em diferentes doses de fósforo, foram identificadas 11 espécies de FMA (MOREIRA et al., 2012), sendo este resultado superior ao presente trabalho, no qual foram observadas oito espécies. Essa mudança da presença das espécies, talvez isso possa ter acontecido por vários fatores, como: temperatura, luminosidade, umidade, idades das mudas e o tipo de substrato, já que eles mostraram diferentes características na composição estrutural porque a procedência da reciclagem não era do mesmo lugar de origem.

O gênero *Glomus* ocorreu com maior frequência entre os FMA do observado no presente estudo, sendo este uma média de 86% da população e superiores aos observados nos trabalhos de Moreira-Souza et al. (2003) e Moreira et al. (2007), que encontraram nas florestas nativa e replantada de araucária, médias de 60% e 44% respectivamente para ambas florestas. Esse comportamento pode ter acontecido provavelmente pelas características que apresentaram as florestas, já que tinham solos com pH extremamente ácido (média de 3,5 para ambas florestas) e alto conteúdo de alumínio, enquanto o solo das mudas em estudo, mostraram um pH medianamente ácido de valor médio 5,1 (TABELA 1).

É conhecido que o *Glomus* é o gênero mais comumente encontrado em solos brasileiros e o mais adaptado a solos ácidos que, geralmente dominam as comunidades de FMA (JOHNSON; WEDIN, 1997; STÜRMER et al., 2006). Essa

predominância pode ser decorrente da sua alta competitividade de colonização e/ou capacidade reprodutiva das espécies, facilitando seu estabelecimento na área (POUYU-ROJAS et al., 2006). Embora existam evidências de que ao elevar o pH dos solos, os FMA podem sofrer alterações na sua composição interna.

Já o gênero *Acaulospora*, segundo Stürmer e Bellei (1994), detalharam que esses FMA são frequentemente encontrados em solos com pH menor que 6,2, portanto as mudas de araucária apresentaram uma média de 41 esporos em solos com pH medianamente ácido, sendo inferiores em 45% do apresentado por Moreira et al. (2012), em mudas de aproximadamente um ano em solos com pH moderadamente ácido a diferentes concentrações de fósforo, mas relativamente iguais aos encontrados por Moreira et al. (2009) nas florestas nativas e replantada em solos com pH extremamente ácido.

Enquanto o gênero *Gigaspora* apresentou baixas populações quando foram inoculadas FMA da floresta nativa e isoladamente em mudas de araucária de pH moderadamente ácido com altos teores de fósforo (MOREIRA et al., 2012; MOREIRA-SOUZA; CARDOSO, 2002). No entanto, o presente trabalho apresentou uma considerada presença deste FMA em pH medianamente ácido e com uma boa disponibilidade de fósforo, esse comportamento talvez deveu-se porque este gênero está adaptado mais a solos arenosos (LEKBERG et al., 2007).

O comportamento de certas espécies de FMA na presença do fósforo é muito variável, segundo Smith et al. (2003) quando a dependência micorrízica é testada em diferentes culturas o gênero *Glomus* apresenta maior eficiência micorrízica em comparação da *Gigaspora*. Enquanto a concentração deste elemento no solo for subótima na função micorrízica, a eficácia simbiótica do FMA é reduzida, tanto assim que o fungo e o hospedeiro competem pela escassa presença do nutriente e quando apresentar em excesso a presença dos FMA será suprimido (HABTE; OSORIO, 2001) afetando negativamente a germinação de esporos e o crescimento das hifas das mesmas (MIRANDA; HARRIS, 1994).

Neste caso, estudos com mudas de araucária de aproximadamente um ano, apresentaram dependência micorrízica com conteúdo de fósforo até 150 mg dm^{-3} , sendo o gênero *Glomus* mais eficiente para teores elevados do nutriente em comparação da *Gigaspora* (MOREIRA-SOUZA; CARDOSO, 2002). No entanto, no presente estudo, onde o solo apresentou uma média 62 mg dm^{-3} de fósforo, com uma importante presença das micorrizas, sobretudo do gênero *Glomus*, confirmando

as observações de Collins e Foster (2009), que em solos com teores de fósforo menores de 40 mg dm^{-3} favorecem a ocorrência de espécies de FMA.

Outro elemento que pode interferir na presença das micorrizas é o alumínio. Segundo Seguel et al. (2013), solos ácidos com níveis elevados deste elemento podem afetar a germinação de esporos, crescimento do tubo germinativo, hifas e colonização da raiz. Certas espécies de FMA diminuem a esporulação em concentrações a partir de $100 \mu\text{m}$ de alumínio (KLUGH-STEWART; CUMMING, 2009). A esporulação das micorrizas nas mudas de araucária foi favorecida pelo pH medianamente ácido e a saturação de alumínio médio no substrato utilizado.

Como já foi detalhado anteriormente, os substratos apresentaram uma boa disponibilidade de fósforo e saturação de alumínio médio nos substratos independente das idades. Portanto a alta porcentagem de colonização micorrízica que apresentou foi a partir de plântulas de um ano, sendo superiores aos observados por Zandavalli et al. (2004) de mudas de dois anos, Moreira-Souza et al. (2010), Moreira et al. (2012) de mudas de um ano e Diehl e Fontella (2010) provenientes das florestas de *A. araucana*.

Tanto em condições de deficiência quanto de excesso do fósforo pode inibir a colonização micorrízica, visto que genes da planta são codificados inibindo nestas condições a sua colonização (SMITH et al., 2003), mas enquanto em concentrações adequadas são favorecidos (MENSAH et al., 2015). No caso de excesso de alumínio, este pode inibir o alongamento radicial prejudicando a estrutura celular no ápice da raiz e a captação de água e nutrientes (KOCHIAN et al, 2015; RENGEL et al., 2015).

Foram observadas nas mudas outras características importantes da colonização radicial, como a presença de esporos, vesículas e arbúsculos do tipo *Arum* (FIGURA 6), sendo este último os mesmos apreciados na floresta de *A. araucana* (DIEHL; FONTELLA, 2010). Essas estruturas arbusculares são responsáveis pelo deslocamento de fosfato para a planta (BERBARA et al., 2006), confirmando assim porque as mudas apresentaram uma ótima eficiência micorrízica.

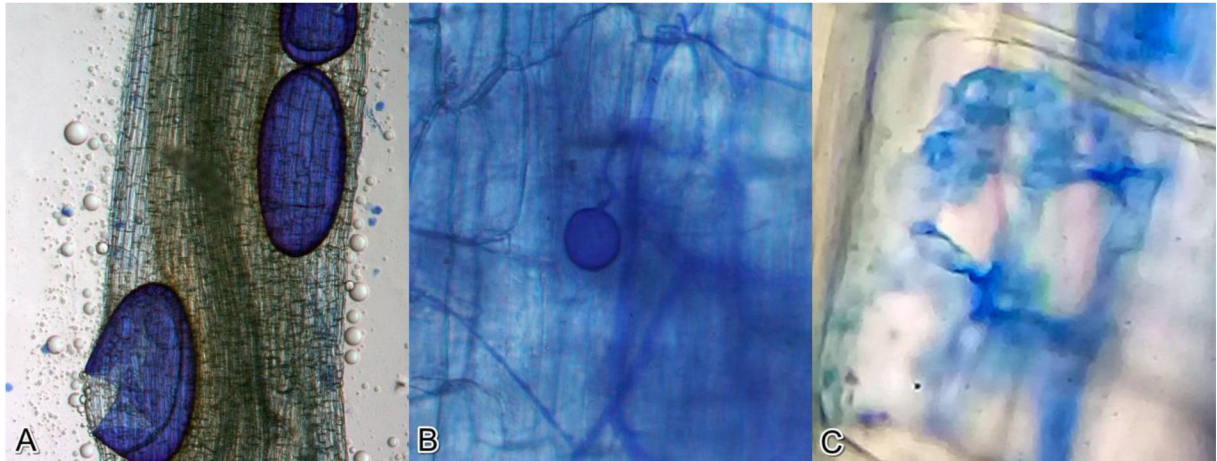


FIGURA 6. COLONIZAÇÃO RADICIAL EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia* DE DIFERENTES IDADES COM PRESENÇA DE ESPOROS (A), VESÍCULA (B) E ARBÚSCULO TIPO ARUM (C).
FONTE: O autor (2017).

3.5 CONCLUSÕES

As mudas de araucária apresentam uma importante diversidade de espécies de FMA, sendo *Glomus* o gênero com maior quantidade e número de espécies.

As espécies de FMA apresentam alta colonização radicial nas mudas a partir de um ano.

REFERÊNCIAS

- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. H. M. A. C. **Fungos micorrizicos arbusculares: muito além da nutrição**. v. VIII, p. 53-88. In: FERNANDES, M. S. (ed) Nutrição Mineral de Plantas. SBCS. 1 ed. Viçosa, 432 p. 2006.
- BONFIM, J. A.; VASCONCELLOS, R. L. F.; GUMIERE, T.; MESCOLOTTI, D. L. C.; OCHL, F.; CARDOSO, E. J. B. N. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Brazilian Atlantic Forest Toposequence. **Microbial Ecology**, v. 71, p. 164-177, 2016.
- BREUNINGER M; EINING, W; MAGEL, E; CARDOSO, E; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brasil Pine (*Araucaria angustifolia* [Bert. O. Ktze.]). **Plant Biology**, v. 2, p. 4-10, 2000.
- CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, M. A.; ZANGARO, W. 2017. **Importance of mycorrhizae in tropical soils**. In: de Azevedo J., Quecine M. (eds) Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics. Springer, Cham. p. 245-267.
- COLLINS, C. D.; FOSTER, B. L. Community-level consequences of mycorrhizae depend on phosphorus availability. **Ecology**, v. 90, p. 2567-2576, 2009.
- DIEHL, P.; FONTELLA, S. B. Arbuscular mycorrhizal infection in two morphological root types of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. **Revista Argentina de Microbiologia**, v 42, p. 133-137, 2010.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v 46, p. 235-244, 1963.
- GIANINAZZI, S.; GOLLOTTE, A.; BINET, M. N.; TUINEN, D.; REDECKER, D.; WIPF, D. Agroecology: the key role mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, p. 519-530, 2010.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v 46, p. 235-244, 1963.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. 1980. An evaluation of techniques to measure vesicular arbuscular mycorrhizal infection roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.
- HABTE, M., OSORIO, N. W. 2001. **Arbuscular mycorrhizas: Producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum**. - Department of Tropical Plant and Soil Sciences, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, HI.
- HILTON-TAYLOR, C. 2000. IUCN red list of threatened species. IUCN, Gland.
- IBGE. 2012. Instituto Brasileiro de Geografia E estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2ª edição revisada e ampliada.

INVAM. **International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi**. Disponível em: <<http://invam.wvu.edu/the-fungi/classification>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692, 1964.

JOHNSON, N. C.; WEDIN, D. A. Soil carbon, nutrients and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. **Ecological Applications**, v. 7, p. 171-182, 1997.

KLUGH-STEWART, K.; CUMMING, J. Organic acid oxidation by mycorrhizal *Andropogon virginicus* L. (broomsedge) roots in response to aluminium. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 367-373, 2009.

KOSKE, R. E.; TESSIER, B. A. convenient, permanent slide mounting medium. **Mycological Society of America Newsletter**, v. 34, p.59, 1983.

LEE, E. H.; EO, J. K.; KA, K. H. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. **Mycobiology**, v. 41, p. 121-125, 2013.

LEKBERG, Y. R. T.; KOIDE, R.; ROHR, J. R; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J. B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Jornal of Ecology**, v. 95, p. 95-105, 2007.

MARQUES, R.; MOTTA, A. C. V. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. In: LIMA, M. R. de., ed. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2.^{ed}. Curitiba, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003.

MILANEZ, F.R.; MONTEIRO NETO, H. Nota prévia sobre micorriza no pinho do Paraná. **Arquivos do Serviço Florestal**, v. 4, p. 87-93, 1950.

MIRANDA, J. C. C.; HARRIS, P. J. 1994. Effects of soil phosphorus on spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 128, p. 103-108, 1994.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; Gomes-da-Costa, S. M. Cardoso, E.J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 13, p. 211-215, 2003.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. 2009. Arbuscular Mycorrhizal fungal communities in native and in replanted *Araucaria* Forest. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 677-684, 2009.

MORTON, J. B.; BENTIVENGA, S. P.; WHEELER, W. W. Germ plasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi

(INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. **Mycotaxon**, v. 48, p. 491-528, 1993.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. 2006. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 413-424, 2006.

SEGUEL, A.; CUMMING, J. R.; CORNEJO, P. BORIE, F. The role of arbuscular mycorrhizas in decreasing aluminium phytotoxicity in acidic soils: A review. **Mycorrhiza**, v. 23, p. 167-183, 2013.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. **Plant Physiology** v. 133, p.16-20, 2003.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p 227–250, 2011.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. **Mycologia**, v. 104, p. 1-13, 2012.

STÜRMER, S. L.; BELLEI, M. M. 1994. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the Island of Santa Catarina, Brazil. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 359-363, 1994.

STÜRMER, S. L.; KLAUBERG-FILHO, O; MENDONÇA, M. M. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 513-521, 2006.

ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; SOUZA, P. V. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**, v. 25, p 245-255, 2004.

ZANDAVALLI, R. B.; STURMER, S. L.; DILLENBURG, L. R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forest with *Araucaria* in Southern Brazil. **Hoehnea**, v. 35, p. 63-68, 2008.

4 CAPÍTULO II: COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA EM MUDAS DE ARAUCÁRIA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NPK

RESUMO

A presença dos FMA favorece o crescimento das mudas com a redução na necessidade de aplicação de insumos químicos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de N, P e K nas mudas de *A. angustifolia*, com o fim de obter as doses apropriadas que favoreçam a incidência da diversidade e esporulação das espécies de FMA, além da colonização radicial para o crescimento das mudas. Os experimentos consistiram em três etapas com diferentes doses de NPK misturados em vasos com substrato de solo pobre, cada um com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo estes distribuídas casualizadamente. Após dois anos do transplante das mudas foram avaliados os parâmetros de crescimento, diversidade e densidade de esporos, índices de diversidade (Shannon, riqueza de Margalef e equitabilidade de Pielou) e a colonização micorrízica. Os dados foram submetidos às análises de variância e redundância. Foram identificadas 14 espécies de FMA, destacando o gênero *Glomus* e a espécie *Rhizophagus clarus* independente das concentrações de adubações utilizadas. O fósforo é o elemento que apresenta maior efeito nos índices de diversidade de espécies de FMA, sendo que nas doses médias favorecem uma alta colonização radicial e maior quantidade de número de espécies de FMA.

Palavras chaves: Pinheiro brasileiro. Nutrição. Fertilizantes. Eficiência micorrízica.

4. CHAPTER II: MYCORRHIZAL COLONIZATION IN ARAUCARIA SEEDLINGS WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF NPK

ABSTRACT

The presence of AMF favors the growth of the seedlings with the reduction in the need of application of chemical inputs. The objective of the present work was to evaluate the effect of different doses of N, P and K on *A. angustifolia* seedlings, in order to obtain the appropriate doses that favor the diversity and sporulation incidence of the AMF species. Root colonization for seedling growth. The experiments consisted of three stages with different doses of NPK mixed in pots with poor soil substrate, each with four treatments and four replications, which were randomly distributed. After two years of transplanting, the growth parameters, spore diversity and density, diversity indexes (Shannon, Margalef richness and Pielou equitability) and mycorrhizal colonization were evaluated. Data were submitted to analysis of variance and redundancy. A total of 14 FMA species were identified, highlighting the genus *Glomus* and the species *Rhizophagus clarus* independent of the fertilization concentrations used. Phosphorus is the element that has the greatest effect on the diversity indexes of AMF species, and at medium doses favor a high root colonization and amounts number of AMF species.

Key-words: Brazilian pine. Nutrition. Fertilizers. Mycorrhizal efficiency.

4.1 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia é uma espécie conífera nativa exclusiva da região Sul do Brasil. Tem grande importância porque apresenta valor econômico, ecológico e social (SANTOS et al., 2016; ZANETTE et al., 2017). Apesar disso, na década de 1950 sua área de ocorrência foi reduzida consideravelmente devido à exploração de sua madeira, cujas características são de excelente qualidade e apreciadas pela indústria madeireira (DELUCIS et al., 2013; HACKBARTH et al., 2017).

Áreas remanescentes de *A. angustifolia* permitem ainda hoje renda extra para diversas famílias, que lucram com o extrativismo do pinhão (DANNER, 2012), que é um produto importante para a população da região Sul do Brasil (DUARTE et al., 2006). Esse cenário sugere a necessidade de medidas de produção e plantio de mudas visando tanto a recomposição de áreas originalmente povoadas pela espécie. No entanto, o empecilho legal que inviabiliza seu uso madeireiro e seu crescimento lento são fatores que desestimulam seu plantio (CARVALHO, 2003).

Na produção de mudas florestais, a escolha do substrato e a fertilização são fatores que favorecem a produção de mudas vigorosas. Entretanto, *A. angustifolia* tem a capacidade de estabelecer relação simbiótica com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que se associam às plantas hospedeiras possibilitando maior capacidade para absorção de nutrientes e água do solo, o que proporciona maior crescimento e sobrevivência das plantas (NADEEM et al., 2014).

A importância da presença dos FMA na produção de mudas garante o sucesso no crescimento e estabelecimento com o fim de reduzir a necessidade de aplicação de insumos químicos (NOURI et al., 2014). Apesar disso, há a necessidade de ensaios de adubação com o intuito de comprovar a eficiência de micorrização em mudas de *A. angustifolia* em resposta a doses de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), tendo-se em vista a economia no uso de fertilizantes em mudas com presença dos FMA.

Neste estudo objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de N, P e K nas mudas de *A. angustifolia*, com o fim de obter as doses apropriadas que favoreçam a incidência da diversidade e esporulação das espécies de FMA, além da colonização radicial para o crescimento das mudas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido a céu aberto no setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba-PR (25°25'47" S e 49°16'19" O, 950 m). Foram coletados solos e raízes dos vasos com volume de 16 L, sendo utilizado substrato de solo pobre de barranco, mas com histórico de área com ocorrência de *A. angustifolia*. A granulometria apresentada para areia, sílice e argila foi de 24, 21 e 55% respectivamente, enquanto os atributos químicos: pH em CaCl₂ 4,0; 0,90 mg dm⁻³ de P; 4,20 g dm⁻³ de C; 1,60; 0,80; 0,08; 2,90 e 11,30 mmol dm⁻³ de Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Al⁺³ e H⁺ + Al⁺³, respectivamente. O solo extraído foi peneirado e para elevar o pH a 6,0 foi aplicado 3,6 g kg⁻¹ de calcário dolimítico e foi feita a incubação por um mês.

Os experimentos de adubação com diferentes doses de NPK consistiram em três etapas, cada um com quatro tratamentos e quatro repetições (TABELA 1). Sendo os nutrientes aplicados na homogeneização com o solo antes do preenchimento dos vasos, salvo exceção que a adubação com N foi fracionado em duas vezes ao ano seguinte depois de instalado o experimento. Posteriormente foram transplantadas nos vasos, um total de 48 mudas de araucária de seis meses de idade e 20 cm de altura aproximadamente, sendo estas distribuídas casualizadamente e mantidas sobre uma cobertura plástica evitando tudo contato com o solo.

TABELA 1. EXPERIMENTOS COM NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) EM MUDAS DE ARAUCÁRIA COM SEIS MESES DE IDADE, PLANTADAS EM VASOS DE 16 L E ADUBADAS COM DIFERENTES DOSES DE NPK, EM CURITIBA, BRASIL.

Tratamentos com diferentes doses de NPK (g dm ⁻³)									
	----- Experimento I -----				----- Experimento II -----				----- Experimento III -----
N*	0	0,35	0,70	2,80	1,40				1,40
P ₂ O ₅ **		1,15			0	0,29	0,58	2,30	1,15
K ₂ O***		0,78			0,78			0	0,19 0,39 1,56

*N: Ureia; **P: Super Fosfato Triplo; ***K: Cloreto de Potássio.

Após dois anos do transplante foram avaliados a altura (Alt); diâmetro basal do caule (D); matéria fresca total (MFT): das raízes (MFR) e parte aérea (MFPA); matéria seca total (MST): das raízes (MSR) e parte aérea (MSPA), obtido após secar em estufa a 60 °C. Os quais os dados foram obtidos do trabalho publicado por Constantino et al. (2019).

Os esporos são extraídos de 100 g de solo, que foram liquefeitas durante 10 segundos e peneirada em malhas de 500 e 53 μm sobrepostas (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), e adicionado solução de sacarose 70 % e centrifugado duas vezes, durante quatro minutos (JENKINS, 1964), e passado novamente por peneiras de malha de 250 e 50 μm .

Para a identificação dos esporos, estes foram separados em grupos de acordo com as características morfológicas em lâminas semipermanentes preparados com PVLG (álcool, ácido láctico e glicerol) (MORTON et al., 1993) e o reagente Melzer (KOSKE; TESSIER, 1983). Posteriormente, foram observadas em microscópio ótico, sendo os esporos identificados sob lupa de acordo com os critérios propostos por INVAM (2018).

Após a identificação e a contagem das espécies, as comunidades de FMA foram caracterizadas os seguintes índices de diversidade, com o uso do pacote estatístico R vegan para Windows; diversidade de Shannon: $H' = -\sum [(n_i/N)\ln(n_i/N)]$; onde n_i é o número de indivíduos de cada espécie e N é o número total de indivíduos na comunidade; riqueza de Margalef: $D_{Mg} = (S-1)/\ln N$; onde S é o número total de espécies da comunidade e N é o número total na comunidade, e equitabilidade de Pielou: $J = H'/\ln(S)$; onde o S é o número total de espécies da comunidade.

As raízes mais finas foram selecionadas e mantidas em KOH 10 % por 24 horas, após tratadas em banho maria a 80 °C por uma hora. Para o clareamento das mesmas foi adicionado H_2O_2 e em seguida foram lavadas e coradas com tinta de caneta azul, sendo mantidas novamente em banho maria por mais cinco minutos e em seguida adicionado lactoglicerol. Na contagem da colonização das micorrizas, as raízes foram colocadas em placa quadriculada 1x1 cm com uso do microscópio estereoscópico, segundo a metodologia descrita por Giovanetti e Mosse (1980).

Os parâmetros de crescimentos avaliados, contagem de esporos de FMA e a porcentagem de colonização radicial (% Col) foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Utilizando como variável explicativa as espécies de esporos de FMA e análises químicas dos solos, por meio de Análises de Redundância (RDA), com o programa CANOCO versão 4.5.

4.3 RESULTADOS

As características da análise química do solo no fim dos experimentos estão apresentadas na TABELA 2, onde se observa que as amostras adubadas em geral resultaram em solos muito ácidos nos três experimentos com médias de 5,19; 4,86 e 4,61 respectivamente, manifestando-se os valores mais baixos quando aplicada a maior dose e na ausência de N e K. Enquanto para o Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram valores médios para todos os experimentos, apresentando os maiores valores nas doses intermediárias das doses de macronutrientes aplicadas.

TABELA 2. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO AO FINAL DOS EXPERIMENTOS COM MUDAS DE ARAUCÁRIA COM DOIS ANOS E MEIO DE IDADE, PLANTADAS EM VASOS E ADUBADAS COM DIFERENTES DOSES DE NPK, EM CURITIBA, BRASIL.

Atributo do Solo	Tratamentos com diferentes doses de NPK (g dm^{-3})											
	----- Experimento I -----				----- Experimento II -----				----- Experimento III -----			
	ON	0,35N	0,70N	2,80N	OP	0,29P	0,58P	2,30P	OK	0,19K	0,39K	1,56K
pH CaCl_2	5,53 ^{a*}	5,60 ^a	5,33 ^a	4,33 ^b	4,78 ^a	4,98 ^a	4,90 ^a	4,78 ^a	4,40 ^b	4,68 ^{ab}	4,88 ^a	4,48 ^b
Ca^{2+} (cmol/dm^3)	4,18 ^{ab}	4,33 ^a	4,33 ^a	3,63 ^b	3,65 ^b	3,95 ^b	4,13 ^{ab}	4,75 ^a	3,55 ^b	4,10 ^{ab}	4,33 ^a	3,68 ^{ab}
Mg^{2+} (cmol/dm^3)	3,25 ^a	3,33 ^a	3,15 ^a	2,55 ^b	3,13 ^a	3,15 ^a	3,25 ^a	3,15 ^a	2,78 ^{ab}	3,13 ^a	3,20 ^a	2,60 ^b
K^+ (cmol/dm^3)	0,50 ^a	0,48 ^a	0,42 ^a	0,21 ^b	0,41 ^{ab}	0,38 ^{ab}	0,45 ^a	0,33 ^b	0,07 ^b	0,11 ^b	0,15 ^b	0,69 ^a
Al^{3+} (cmol/dm^3)	0,00 ^b	0,00 ^b	0,03 ^b	1,10 ^a	0,35 ^a	0,20 ^a	0,20 ^a	0,30 ^a	0,83 ^a	0,30 ^{ab}	0,18 ^b	0,53 ^{ab}
H+Al^{3+} (cmol/dm^3)	5,58 ^{ab}	4,30 ^b	4,80 ^{ab}	8,08 ^a	6,20 ^a	5,80 ^a	5,60 ^a	6,75 ^a	7,68 ^a	6,48 ^{ab}	6,05 ^b	7,38 ^{ab}
T (cmol/dm^3)	13,50 ^a	12,43 ^a	12,70 ^a	14,46 ^a	13,38 ^b	13,28 ^b	13,43 ^b	14,98 ^a	14,07 ^a	13,81 ^a	13,72 ^a	14,34 ^a
SB (cmol/dm^3)	7,92 ^a	8,13 ^a	7,90 ^a	6,39 ^b	7,18 ^a	7,48 ^a	7,83 ^a	8,23 ^a	6,39 ^b	7,33 ^{ab}	7,67 ^a	6,96 ^{ab}
m %	0,00 ^b	0,00 ^b	0,25 ^b	14,75 ^a	4,75 ^a	2,75 ^a	2,50 ^a	3,50 ^a	11,75 ^a	4,00 ^{ab}	2,00 ^b	7,25 ^{ab}
P (mg/dm^3)	29,90 ^a	35,35 ^a	37,90 ^a	34,73 ^a	1,43 ^b	7,53 ^b	16,38 ^b	135,58 ^a	34,80 ^b	43,63 ^{ab}	42,70 ^{ab}	50,05 ^a
C (g/dm^3)	6,73 ^a	5,08 ^a	10,58 ^a	10,00 ^a	4,30 ^a	4,68 ^a	5,75 ^a	2,98 ^a	8,90 ^a	8,65 ^a	8,35 ^a	9,45 ^a

Onde: pH (CaCl_2 0.01 mol L^{-1}); Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} (extraído com KCl 1 mol L^{-1}); H^+ + Al^{3+} (extração por acetato de cálcio 0.5 mol L^{-1}); K^+ e P (Extração de Mehlich-1); Saturação de bases (SB) e saturação de Al^{3+} (m).

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A disponibilidade final do K nas amostras para o caso dos dois primeiros experimentos foi de média a alta, já para o terceiro experimento a maior dose de K aplicado resultou em valor alto para este nutriente (0,69 cmol/dm^3). A presença do Al^{3+} em geral para os três experimentos foram valores semelhantes, exceto no primeiro experimento na maior dose de N utilizada resultando em valor de 1,10 cmol/dm^3 .

O teor de P quando adubado em dose moderada nos experimentos I e III, apresenta valores médios, enquanto no experimento II este nutriente vai incrementando nas doses, resultando em valor alto (135,58 mg/dm^3) na maior dose

de P utilizada. Para a concentração de C nos experimentos, não apresentaram diferenças significativas nas diferentes concentrações independente do experimento.

A identificação das espécies de FMA nos diferentes experimentos está apresentada na TABELA 3. Observa-se a presença de *Acaulospora tuberculata*, *A. scrobiculata*, *A. spinosa*, *Gigaspora* sp., *Dentiscutata heterogama*, *Ambispora leptoticha*, *Entrophospora infrequens*, *Glomus spinuliferum*, *G. macrocarpum* (descrita anteriormente como *Glomus* sp.3), quatro espécies pertencentes ao gênero *Glomus* spp. e por último *Rhizophagus clarus*, confirmando-se pelo menos a presença de 14 espécies com predominância do gênero *Glomus* spp. e a última espécie mencionada independente das concentrações de adubações das mudas.

TABELA 3. NÚMERO MÉDIO DE ESPOROS MICORRÍZICOS DOS EXPERIMENTOS COM MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

Espécies de FMA	Tratamentos com diferentes doses de NPK (g dm ⁻³)											
	----- Experimento I -----				----- Experimento II -----				----- Experimento III -----			
	ON	0,35N	0,70N	2,80N	OP	0,29P	0,58P	2,30P	OK	0,19K	0,39K	1,56K
<i>Acaulospora tuberculata</i>	10 ^a *	9 ^a	6 ^a	2 ^a	9 ^a	12 ^a	14 ^a	14 ^a	2 ^a	5 ^a	6 ^a	4 ^a
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	66 ^a	49 ^a	63 ^a	33 ^a	48 ^b	89 ^a	88 ^a	54 ^{ab}	51 ^a	97 ^a	86 ^a	110 ^a
<i>Acaulospora spinosa</i>	182 ^a	81 ^a	137 ^a	13 ^a	41 ^a	44 ^a	54 ^a	52 ^a	27 ^a	34 ^a	78 ^a	58 ^a
<i>Gigaspora</i> sp.	13 ^a	10 ^{ab}	6 ^{ab}	5 ^b	18 ^a	21 ^a	19 ^a	14 ^a	4 ^b	6 ^{ab}	10 ^a	6 ^{ab}
<i>Dentiscutata heterogama</i>	9 ^a	5 ^a	4 ^a	1 ^a	14 ^a	16 ^a	13 ^a	13 ^a	1 ^{ab}	3 ^a	1 ^{ab}	0 ^b
<i>Ambispora leptoticha</i>	31 ^a	30 ^a	28 ^a	11 ^a	13 ^a	13 ^a	18 ^a	11 ^a	12 ^a	39 ^a	32 ^a	34 ^a
<i>Entrophospora infrequens</i>	0 ^a	0 ^a	1 ^a	0 ^a	8 ^a	10 ^a	9 ^a	6 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
<i>Glomus spinuliferum</i>	41 ^b	25 ^b	33 ^b	106 ^a	106 ^a	116 ^a	95 ^a	107 ^a	57 ^a	48 ^a	39 ^a	32 ^a
<i>Glomus macrocarpum</i>	73 ^b	93 ^b	90 ^b	184 ^a	135 ^a	133 ^a	134 ^a	152 ^a	154 ^a	145 ^a	174 ^a	122 ^a
<i>Glomus</i> sp.1	35 ^a	46 ^a	58 ^a	74 ^a	60 ^a	84 ^a	64 ^a	66 ^a	64 ^a	84 ^a	95 ^a	81 ^a
<i>Glomus</i> sp.2	58 ^b	57 ^b	80 ^{ab}	119 ^a	148 ^a	241 ^a	177 ^a	140 ^a	141 ^a	158 ^a	165 ^a	119 ^a
<i>Glomus</i> sp.3	92 ^a	74 ^a	84 ^a	83 ^a	194 ^a	257 ^a	206 ^a	166 ^a	81 ^b	119 ^{ab}	152 ^{ab}	156 ^a
<i>Glomus</i> sp.4	44 ^a	56 ^a	57 ^a	20 ^a	123 ^a	102 ^a	89 ^a	86 ^a	19 ^a	29 ^a	29 ^a	34 ^a
<i>Rhizophagus clarus</i>	901 ^a	300 ^b	229 ^b	238 ^b	158 ^b	441 ^{ab}	618 ^a	345 ^{ab}	232 ^a	316 ^a	411 ^a	274 ^a
Total Esporos	1552 ^a	832 ^b	874 ^b	887 ^b	1070 ^a	1576 ^a	1596 ^a	1223 ^a	841 ^a	1083 ^a	1276 ^a	1029 ^a

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na FIGURA 1, são observados os esporos das espécies de FMA, achados no presente trabalho além dos observados no trabalho anterior, mas com as características morfológicas principais para o caso *A. tuberculata* de coloração vermelho escuro, de formato subgloboso e tamanho entre 150 a 250 μ m; *A. spinosa* de coloração amarelo claro-marrom, de formato globoso e tamanho entre 140 a 220

μm ; *A. leptoticha* de coloração creme a marrom, de formato globoso e tamanho entre 160 a 240 μm ; *E. infrequens* de coloração alaranjado escuro, de formato globoso e tamanho entre 120 a 160 μm e *R. clarus* de coloração branco a amarelo amarronzado, de formato globoso e tamanho entre 80 a 120 μm .

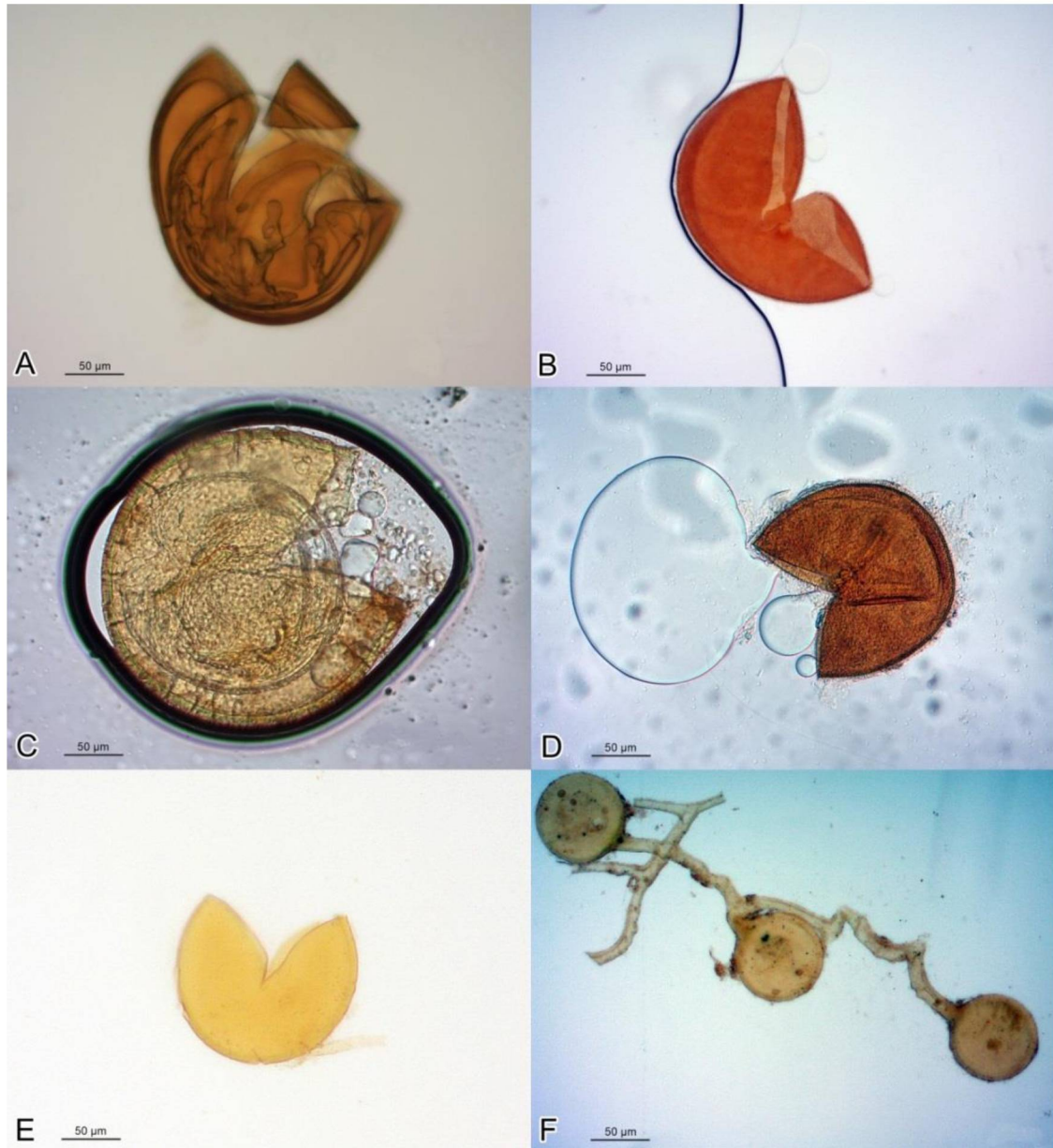


FIGURA 1. ESPOROS IDENTIFICADOS NAS MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL. *Acaulospora tuberculata* (A); *Acaulospora spinosa* (B); *Ambispora leptoticha* (C); *Entrophospora infrequens* (D); *Glomus* sp.4 (E) e *Rhizophagus clarus* (F).
FONTE: O autor (2018).

Como se pode observar na TABELA 3, a maior presença do gênero *Glomus* spp. foi no experimento II com uma média geral de 59%, sendo que o comportamento das populações aumenta até as doses médias de P (0 a 0,58), enquanto a aplicação média de P nos experimentos I e III com N e K em diferentes concentrações, as populações são quase semelhantes com média geral de 44 e 55%. Dentro das espécies destacam-se *G. macrocarpum*, *G. sp.2* e *G. sp.3* em ordem crescente.

Outra importante presença de indivíduos é a espécie *Rhizophagus clarus* com a maior média observada no experimento I com 37% da população, mas quase semelhante em número de indivíduos quando comparado com o experimento II de 417 e 390 respectivamente. Também foi observado que o maior número desta espécie se deu em ausência do N (901) e nas doses intermédias de P (441 e 618).

Enquanto o gênero *Acaulospora* spp., no experimento I obteve a maior presença com 15% e nas concentrações intermédias de cada experimento apresentaram as maiores populações, resultado semelhante foi observado para *R. clarus*, este também apresentou o máximo número de indivíduos no tratamento 0 N (258). No entanto as espécies *A. scrobiculata* e *A. spinosa*, estes foram as mais representativas, destacando a primeira espécie no experimento II nas doses intermédias com 89 e 88 indivíduos, enquanto a segunda espécie se destacou no primeiro experimento no tratamento 0N com uma média de 182 esporos diferenciando-se do resto.

As espécies *Gigaspora* sp. e *D. heterogama*, apresentaram nos experimentos uma média geral de 1% da população, destacaram-se no experimento II mas não diferenciaram-se significativamente nas diferentes doses obtendo como médias 18 e 14 esporos. No entanto na espécie *A. leptoticha* se observaram nos experimentos I e III uma média geral de 3% do total de indivíduos, apresentando as maiores médias independente das concentrações de N e K, com 25 e 29 esporos respetivamente.

A espécie *E. infrequens* apresentou a maior presença no experimento II com uma média de 1 % da população com oito esporos independente das concentrações. Assim, como a população geral de FMA foi superior no experimento II com média de 1366, incrementado razoavelmente o número de indivíduos até concentrações médias de P (0 a 0,58). Para o caso dos outros experimentos não diferiram significativamente nas diferentes concentrações testadas e apresentaram médias de 1036 e 1057 esporos respectivamente.

A TABELA 4 mostra os resultados das comparações entre os valores do índice de diversidade de Shannon, riqueza de Margalef e equitabilidade de Pielou dos experimentos. Sendo observados tanto para os três índices, que a maiores valores aconteceram no experimento II, mas com pouca ou mínima diferença entre os tratamentos.

TABELA 4. COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE DIVERSIDADE MICORRÍZICA NOS EXPERIMENTOS COM MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

Tratamentos com diferentes doses de NPK (g dm ⁻³)												
Experimento I					Experimento II				Experimento III			
	ON	0,35N	0,70N	2,80N	OP	0,29P	0,58P	2,30P	OK	0,19K	0,39K	1,56K
RE*	13	13	14	13	14	14	14	14	13	14	13	12
Shannon	1,60	2,10	2,20	2,00	2,28	2,14	2,03	2,18	2,03	2,10	2,05	2,12
Índices Margalef	1,63	1,79	1,92	1,77	1,86	1,77	1,76	1,83	1,78	1,86	1,68	1,59
Pielou	0,62	0,82	0,83	0,78	0,86	0,81	0,77	0,83	0,79	0,80	0,80	0,85

*RE: Riqueza espécie.

Na FIGURA 2, se observa a porcentagem de colonização das raízes das mudas nos experimentos, destacando o experimento II, o qual acontece que os valores mais altos atingem até as concentrações moderadas de P chegando a 83%. Enquanto no primeiro experimento, na ausência de N apresentou seu menor valor (46%).

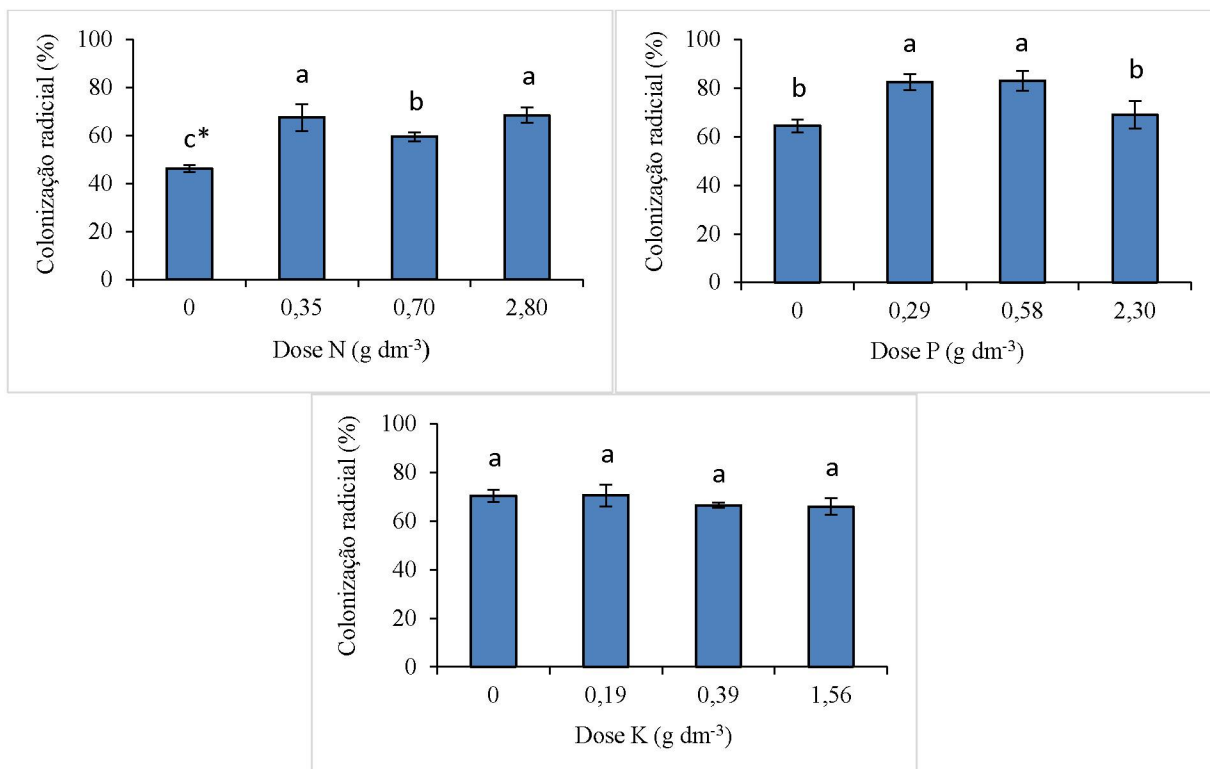


FIGURA 2. COLONIZAÇÃO RADICAL DE MUDAS DE ARAUCÁRIA DE DOIS ANOS E MEIO DOS EXPERIMENTOS COM DIFERENTES DOSES DE NPK CULTIVADOS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os efeitos das análises químicas do solo final dos experimentos, respostas de crescimento, e porcentagem de colonização das espécies de FMA presentes nas mudas de dois anos e meio em diferentes doses de NPK com a análise de RDA (Figura 3) onde se observa a separação da maioria dos tratamentos dos experimentos em presença dos cátions (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} e SB) com o pH no eixo 1 ($p < 0,5$), que explica 47,5% de toda a variabilidade dos dados. Portanto este eixo foi responsável pelo agrupamento dos tratamentos com doses moderadas de N, juntamente com a presença da maioria dos FMA observados nas amostras (*Aca Tub*, *Aca Scr*, *Aca Spi*, *Gig Sp.*, *Den Het*, *Amb Lep*, *Gl 4* e *Rhi Cla*). Enquanto no eixo 2 explica 29,3% agrupa sobretudo o gênero *Glomus* (*Gl Spi*, *Gl M*, *Gl 1*, *Gl 2*) influenciando nas respostas do crescimento das mudas (MFR, MSR, MFT, MST, ALT e D) e a porcentagem de colonização (%Col). No caso dos cátions (T , H^+ + Al^{3+} e Al^{3+}) e o C presente nas amostras não apresentou a menor influencia na comunidade de espécies de FMA.

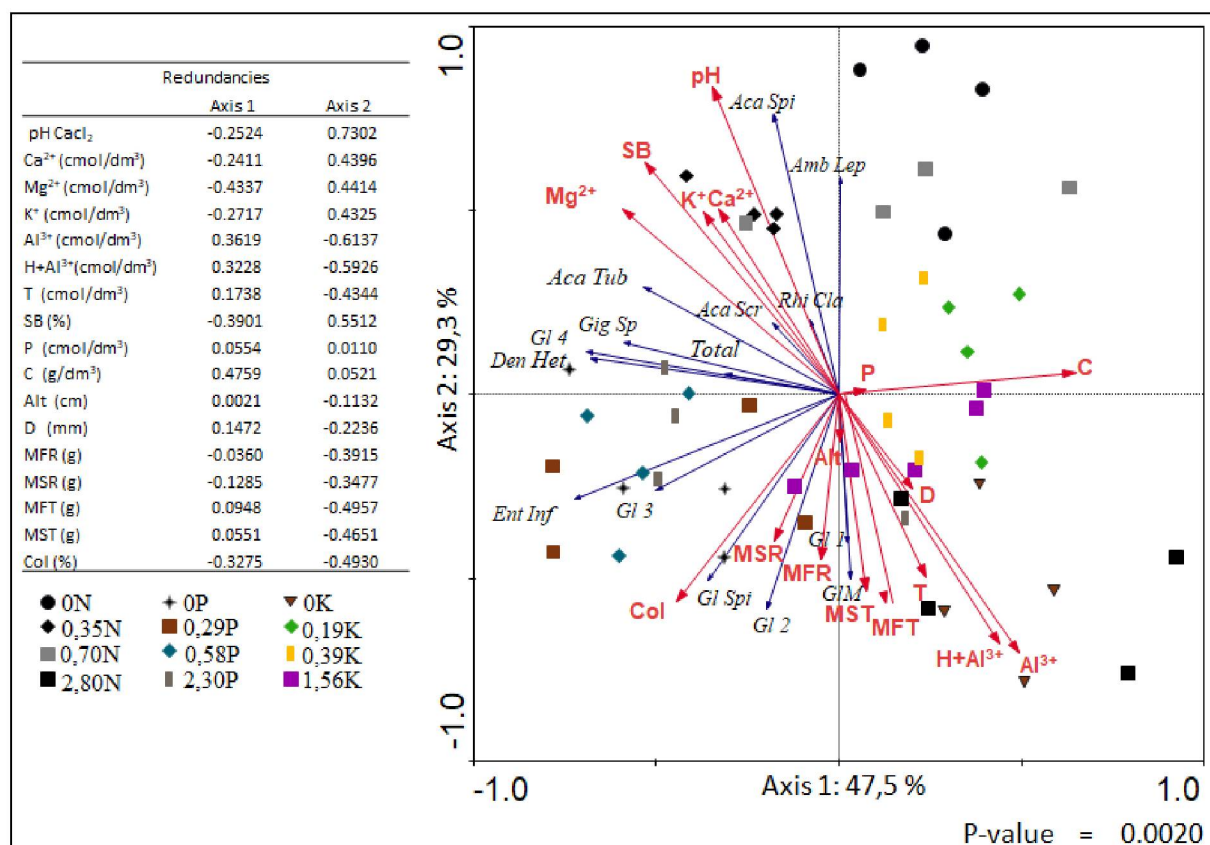


FIGURA 3. ANÁLISES DE REDUNDÂNCIA (RDA), COM VÁRIAS ESPÉCIES DE FMA, ANÁLISES QUÍMICOS DOS SOLOS E RESPOSTAS NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE DOIS ANOS E MEIO COM DIFERENTES DOSES DE NPK. *Aca Tub*: *Acaulospora tuberculata*; *Aca Scr*: *Acaulospora scrobiculata*; *Aca Spi*: *Acaulospora spinosa*; *Gig Sp*: *Gigaspora sp.*; *Den Het*: *Dentiscutata heterogama*; *Amb Lep*: *Ambispora leptoticha*; *Ent Inf*: *Entrophospora infrequens*; *Gl Spi*: *Glomus spinuliferum*; *Gl M*: *Glomus macrocarpum*; *Gl 1*: *Glomus sp.1*; *Gl 2*: *Glomus sp.2*; *Gl 3*: *Glomus sp.3*; *Gl 4*: *Glomus sp.4* e *Rhi Cla*: *Rhizophagus clarus*.

4.4 DISCUSSÃO

A diversidade dos FMA em mudas de araucária em viveiros diferencia-se das observadas em florestas nativas de araucária ou replantadas estudados nas diversas localidades com a presença da cultura como São Paulo (SP), Rio Grande do Sul (RS) e Paraná (PR). Sendo que para o primeiro estado das florestas mencionadas foi observada uma média 43 espécies (MOREIRA et al., 2007a; MOREIRA et al., 2009 e BONFIM et al., 2016), enquanto para RS obtiveram uma média de 12 espécies (BREUNINGER et al., 2000; ZANDEVALLI et al., 2008) e para o caso do PR, Vilcatoma-Medina et al. (2018) observou uma média de oito espécies em mudas de diferentes idades. Portanto as diferentes concentrações de NPK nas

mudas influenciaram a presença das 14 espécies estimulando a simbioses em benefício tanto na multiplicação dos microorganismos como para o bom crescimento das plantas, especialmente quando apresentou uma adubação moderada de P.

A população dos FMA e absorção dos nutrientes são afetados pelos fatores ambientais, solo, pH e água influenciando o crescimento das mudas (TOLJANDER et al., 2008; HELGASON e FITTER, 2009; TAHAT e SIJAM, 2012). A cultura da araucária se desenvolve satisfatoriamente em solos com pH medianamente ácido, como foi o caso do trabalho de Moreira et al. (2012), quando corrigida a acidez do substrato e adubada com doses moderadas de P, identificaram 11 espécies, inferiores ao observado no presente trabalho, as diferentes doses de N e K, podem ter influenciados a estrutura do substrato e contribuído para a maior diversidade de espécies e esporulação respectivamente.

Na presente pesquisa e como a maioria dos trabalhos realizados com a presença dos FMA na araucária nas diferentes florestas do solo brasileiro, predominam os gêneros *Glomus* e *Acaulospora*, tal como acontecido nos trabalhos realizados por Moreira Souza et al. (2003), Moreira et al. (2007a); Bonfim et al. (2016) e Moreira et al. (2016). Essa dominância confirma que esses gêneros produzem mais esporos e exigem menos tempo para se reproduzir no mesmo ambiente em comparação do resto de FMA (HART et al., 2002; PIOTROWSKI et al., 2004; SURESH et al., 2010).

O gênero *Glomus* foi dominante, sobretudo no experimento II até concentrações moderadas de P, assim como foi observado por Moreira e Cardoso (2002), Moreira et al. (2012) e nas mudas de *Acacia mearnsii* (MELLO et al., 2008). Conforme detalhado por Breuillin et al. (2010) que altas concentrações de P inibe a simbiose com *G. intraradices*.

A presença da espécie *R. clarus*, que é uma das mais comuns em diversas espécies do ecossistema, foi a segunda espécie mais abundante nas mudas de araucária, reduzindo nas doses maiores de P, corroborando Ferreira et al. (2015) que observou uma redução de até 70% na presença de excesso de P, mas na cultura de *Eucalyptus marginata* a espécie *R. irregularis* podem ser tolerantes a níveis elevados de P (KARIMAN et al., 2014).

Enquanto o gênero *Acaulospora*, segundo Li et al. (2012), explicou que o excesso da fertilização com P afeta a esporulação, de tal forma que reduz o número de indivíduos, também verificado no presente trabalho e corroborando com Moreira

et al. (2012). Já com uma média alta deste nutriente nas amostras dos experimentos, estes apresentaram maiores números de indivíduos quando comparado com a floresta de araucária de SP com presença média de P (13 mg dm^{-3} ; MOREIRA et al., 2007a). Enquanto a espécie de *A. scrobiculata*, no experimento II com presença média 40 mg dm^{-3} de P nos tratamentos, foi superior em 68 % de esporos quando comparado em mudas de diferentes idades em concentração alta do P (79 mg dm^{-3}) (VILCATOMA-MEDINA et al., 2018).

Outro gênero, *Gigaspora* (*Gigaspora* sp. e *D. heterogama*), foi afetada com o incremento nas doses dos experimentos, principalmente no aumento da dose de N aplicada, semelhante ao observado por Johnson et al. (2003) em solos enriquecidos com este nutriente, o qual também é favorecido em solos arenosos (LEKBERG et al., 2007) com pH médio. Para o caso das espécies *A. leptoticha* e *E. infrequens*, presentes nas diversas florestas do solo brasileiro com pH ácido, Al^{3+} moderado e K baixo (SILVA et al., 2007; COSTA et al., 2016) o qual não foi uma exceção nos experimentos, portanto a sua quantidade precisa ser considerada no caso das mudas.

No que se refere a análise do índice de diversidade dos FMA, como sabemos quem destacou foi o experimento II, esse comportamento deve ter acontecido pelas propriedades químicas apresentado nos substratos no final do experimento, como o P que apresentou diferentes concentrações e baixas quando comparados com o resto de experimentos que sempre foram constante e alto, também pelo pH e a matéria orgânica. Essas respostas também foram similares no trabalho de Moreira et al. (2007b) mostrando maior diversidade e riqueza na floresta nativa de araucária quando comparado com a floresta replantada.

Dos dados obtidos de Constantino et al. (2019), a maior altura nas mudas se apresenta no experimento II, sobretudo na presença de P com uma média de 79 cm sendo superiores em 34% quando comparado na ausência do mesmo, mas quando adubado com dose moderada constante de P nas diferentes concentrações de N e K eles destacaram com médias de 74 e 73 cm respectivamente.

Quando comparadas a altura e diâmetro, tanto dos três experimentos elas foram menores em 50% e maiores em 30% em comparação com o trabalho de Zandavalli et al. (2004), em mudas de dois anos, quando inoculados com a espécie *G. clarum* em solo esterilizado de procedência natural de *A. angustifolia*, a qual apresentaram uma boa presença de P, K, matéria orgânica e baixo teor de Al^{3+} em

comparação com o solo usado no presente experimento. Confirmando também quando inoculado espécies de FMA em adição com fertilização em doses moderadas de P em mudas de *Khaya senegalensis* e *Acacia mangium*, os parâmetros de crescimento melhoraram consideravelmente diferenciando-se do controle (JEYANNY et al. 2011; JEYANNY et al., 2013).

Ainda de acordo com Constantino et al. (2019), com relação à MFPA e MFR, destacaram na presença de doses moderadas de P e N, com médias de 341 e 256 g nas quais foram valores muito superiores dos observados por Zandavalli et al. (2004) nas mudas de dois anos. Enquanto a MSPA e MSR aconteceu o mesmo como na MF com médias de 140 e 122 g, sendo superiores em até o dobro para ambos os parâmetros quando comparado em mudas de ano e meio (MOREIRA-SOUZA e CARDOSO, 2002).

Destacar também a importância da presença do gênero *Glomus* e os trabalhos dos autores mencionados anteriormente com a inoculação de *G. intraradices* e *G. clarum* e a influencia destes nos parâmetros de crescimento das mudas. Confirmando que esta última espécie também é benéfica para culturas anuais o qual beneficia o crescimento das plantas e na eficiência da absorção de P e N (CELY et al., 2016). Enquanto *G. macrocarpum* foi confirmada como uma das mais importantes espécies nas plantações jovens de *Eucalyptus urophylla* (SANTOS et al., 2017), sobretudo na presença moderadas de N e P como o acontecido nas mudas adubadas.

Os valores mais altos da colonização micorrízica das mudas adubadas foram observados no experimento II, destacando em concentrações moderadas de P, chegando a ser três vezes superiores dos apresentados nos trabalhos com mudas de um ano adubadas com P (MOREIRA-SOUZA e CARDOSO, 2002; MOREIRA et al., 2012), o dobro quando comparados com as florestas nativas, replantadas e queimadas de *A. angustifolia* (MOREIRA et al., 2006; MOREIRA et al., 2007a; MOREIRA et al., 2016), semelhantes dos apresentados em mudas de dois e cinco anos (ZANDEVALLI et al., 2004; VILCATOMA-MEDINA et al., 2018) e das florestas de *A. araucana* (DIEHL et al., 2008; DIEHL e FONTELLA, 2010) e muito superiores dos plantios de *Eucalyptus* sp. (LIMA et al., 2013).

A presença dos cátions como o Al^{3+} predomina nos solos ácidos inibindo a absorção de nutrientes no solo, enquanto certas espécies de FMA facilitam a sua disponibilidade (MEHARG, 2003) como neste caso a presença final deste elemento

não interferiu nos substratos porque foi medianamente considerável devido à contribuição dos nutrientes que facilitaram a reprodução dos fungos como também o aconteceu nas mudas de araucária de diferentes idades (VILCATOMA-MEDINA et al., 2018) e nas mudas de *Tectona grandis* (RODRIGUES., et al 2018).

A importância dos fertilizantes nos experimentos das mudas frente à presença dos FMA foi na ordem P, N e K respectivamente. Isto se deve provavelmente pelo papel fundamental que o P cumpre na função da composição das moléculas orgânicas como ácidos nucleicos, ATP e fosfolipídios (CAMPOS, et al., 2018), portanto quanto mais limitante este nutriente, maior será a incidência no comportamento dos FMA. Foi observado também quando em doses moderadas de P e N e baixo em K, apresentaram importante número de FMA.

Segundo Garcia et al. (2014), existe uma forte correlação entre P e K nos FMA, tanto assim que a deficiência deles pode induzir na acumulação de K nas hifas o qual impede a transferência de polifosfato na planta importante para a formação e estabilização dos vacúolos. Enquanto a simbiose dos FMA melhora a absorção de P e N sob condições baixas, pelo hospedeiro, e por sua vez esses nutrientes influenciam na colonização radicular dos FMA e seu funcionamento simbiótico (NOURI et al., 2014).

No presente trabalho, como se sabe a população de espécies de FMA foram influenciados favoravelmente pelas diferentes concentrações de nutrientes e, conseqüentemente, no crescimento das mudas. Esse comportamento foi similar ao observado por Fuentes-Ramirez et al. (2018), onde as espécies de FMA aumentaram significativamente, após uma queima na floresta de *Araucaria araucana*, com a incorporação dos nutrientes devido à mineralização da matéria orgânica e a contribuição das cinzas.

4.5 CONCLUSÕES

As mudas de araucária apresentam uma importante diversidade de espécies de FMA, destacando o gênero *Glomus* e a espécie *Rhizophagus clarus* independentes das concentrações de adubações utilizadas.

O fósforo é o elemento que apresenta maior efeito nos índices de diversidade de espécies de FMA, sendo que as doses médias favorecem uma alta colonização radicial e maior quantidade de número de espécies de FMA.

REFERÊNCIAS

- BONFIM, J. A.; VASCONCELLOS, R. L. F.; GUMIERE, T.; MESCOLOTTI, D. L. C.; OCHL, F.; CARDOSO, E. J. B. N. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Brazilian Atlantic Forest Toposequence. **Microbial Ecology**, v.71, p. 164-177, 2016.
- BREUILLIN, F.; SCHRAMM, J.; HAJIREZAEI, M.; AHKAMI, A.; FAVRE, P.; DRUEGE, U.; HAUSE, B.; BUCHER, M.; KRETZSCHMAR, T.; BOSSOLINI, E.; KUHLEMEIER, C.; MARTINOIA, E.; FRANKEN, P.; SCHOLZ, U.; REINHARDT, D. Phosphate systemically inhibits development of arbuscular mycorrhiza in *Petunia hybrida* and represses genes involved in mycorrhizal functioning. **The Plant Journal**, v. 64, p. 1002-1017, 2010.
- BREUNINGER M; EINING, W; MAGEL, E; CARDOSO, E; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brasil Pine (*Araucaria angustifolia* [Bert. O. Ktze.]). **Plant Biology**, v. 2, p. 4-10, 2000.
- CAMPOS, P.; BORIE, F.; CORNEJO, P.; LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; LÓPEZ-GARCÍA, Á.; SEGUEL, A. Phosphorus acquisition efficiency related to root traits: is mycorrhizal symbiosis a key factor to wheat and barley cropping?. **Frontiers in Plant Science**, V. 9, P. 1-21, 2018.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília: EMBRAPA – SPI, 2003. 1039 p.
- CELY, M. V. T.; DE OLIVEIRA, A. G.; DE FREITAS, D. F; ET AL (2016) Inoculant of arbuscular mycorrhizal fungi (*Rhizophagus clarus*) increase yield of soybean and cotton under field conditions. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1-9, 2016.
- CONSTANTINO, V.; BARBOSA, J. Z.; MOTTA, A. V.; DOLINSKI, M. A.; PRIOR, S. A. P.; ZANETTE, F. Initial growth of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in response to fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium. **Floresta**, v. 49, n. 1, p. 99-108, 2019.
- COSTA, H. A. O.; STÜRMER, S. L.; RAGONEZI, C.; GRAZZIOTTI, P. H.; GRAZZIOTTI, D. C. F. S.; SILVA, E. de B. Species richness and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in *Syngonanthus elegans*, an endemic and threatened species from the Cerrado domain in Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 326-336, 2016.
- DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. **O cultivo da araucária para produção de pinhões como ferramenta para a conservação. Pesquisa florestal brasileira**, v. 32, n. 72, p. 441-451, 2012.
- DELUCIS, R. de A.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; TREVISAN, R. Qualificação da madeira de três espécies de coníferas oriundas de reflorestamentos jovens. **Scientia Forestalis**, v. 41, p. 477-484, 2013.

DIEHL, P.; MAZZARINO, M. J.; FONTELLA, S. B. Plant limiting nutrients in Andean-Patagonian woody species: Effects of interannual rainfall variation, soil fertility and mycorrhizal infection. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2973-2980, 2008.

DIEHL, P.; FONTELLA, S. B. Arbuscular mycorrhizal infection in two morphological root types of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 42, p. 133-137, 2010.

DOMINGUEZ-NUNEZ JA, BENITO B, BERROCAL-LOBO M, ALBANESI A (2016) Mycorrhizal fungi: role in the solubilization of potassium. In: Meena VS, Maurya BR, Verma JP, Meena RS (eds) Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. **Springer**, India, p 77–98.

DUARTE, L. da S.; DOS SANTOS, M. M. G.; HARTZ, S. M.; PILLAR, V. D. The role of nurse plants in Araucaria forest expansion over grassland in South Brazil. **Austral Ecology**. 31, 520–528, 2006.

FERREIRA, P. A. A.; CERETTA, C. A.; SORIANI, H. H.; TIECHER, T. L.; SOARES, C. R. F. S.; ROSSATO, L.V.; et al. Rhizophagus clarus and phosphate alter the physiological responses of Crotalaria juncea cultivated in soil with a high Cu level. **Applied Soil Ecology**, v. 91, p. 37–47, 2015.

FUENTES-RAMIREZ, A.; BARRIENTOS, M.; ALMONACID, L.; ARRIAGADA-ESCAMILLA, C.; SALAS-SLJABIT, C. Short-term response of soil microorganisms, nutrients and plant recovery in fire-affected Araucaria araucana forests. **Applied Soil Ecology**, v. 131, p. 99-106, 2018.

GARCIA, K.; ZIMMERMANN, S. D. The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. **Frontiers in plant Science**, v. 5, p. 1-9, 2014.

GARCIA, K.; DELTEIL, A.; CONÉJÉRO, G.; BECQUER, A.; PLASSARD, C.; SENTENAC, H.; ZIMMERMANN, S. Potassium nutrition of ectomycorrhizal Pinus pinaster: overexpression of the Hebeloma cylindrosporum HcTrk1 transporter affects the translocation of both K⁺ and phosphorus in the host plant. **New Phytologist**, v. 201, p. 951–960, 2014.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular arbuscular mycorrhizal infection roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

HACKBARTH, C.; SOFFIATTI, P.; ZANETTE, F.; FLOH, E. I. S.; MACEDO, A. F.; LAUREANO, H. A. Free amino acid content in trunk, branches and branchlets of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Journal of Forestry Research**, v. 29, p. 1489-1496, 2017.

HART, M. M.; READER, R. J. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi, **New Phytologist**, v. 153, n. 2, p. 335–344, 2002.

HELGASON, T.; FITTER, A. H. Natural selection and the evolutionary ecology of the arbuscular mycorrhizal fungi (*Phylum Glomeromycota*). **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 2465–2480, 2009.

INVAM. International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi. Disponível em: <<http://invam.wvu.edu/the-fungi/classification>>. Acesso em: 10 out. 2018.

JENKINS, W. R. 1964. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692, 1964.

JEYANNY, V.; LEE, S. S.; WAN RASIDAH, K. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and fertilisation on the growth of *Acacia mangium* seedlings. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 4, p. 404–409, 2011.

JEYANNY, V.; WAN RASIDAH K.; LEE S. S.; GHAZALI M. H.; FAUZI M. S. Preliminary assessment of exponential nutrient loading and arbuscular mycorrhizal inoculation on the physical growth of *Acacia mangium* and *Khaya senegalensis* seedlings in tropical forest nursery. **Journal of Tropical Plant Physiology**, v. 5, p. 10-21, 2013.

JOHNSON, N.C.; ROWLAND, D.L.; CORKIDI, L.; EGERTON-WARBURTON, L. M.; ALLEN, E. B. Nitrogen Enrichment Alters Mycorrhizal Allocation At Five Mesic To Semiarid Grasslands. **Ecology**, v. 84, p. 1895–1908, 2003.

KARIMAN, K.; BARKER, S. J.; FINNEGAN, P. M.; TIBBETT, M. Ecto- and arbuscular mycorrhizal symbiosis can induce tolerance to toxic pulses of phosphorus in jarrah (*Eucalyptus marginata*) seedlings. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 501–509, 2014.

KOSKE, R. E.; TESSIER, B. A convenient, permanent slide mounting medium. **Mycological Society of America Newsletter** v. 34, p.59, 1983.

LEKBERG, Y. R. T.; KOIDE, R.; ROHR, J. R; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J. B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Jornal of Ecology**, v. 95, p. 95-105, 2007.

LIMA, F. D. S.; SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. D. S. Occurrence and activity arbuscular mycorrhizal fungi in eucalypt (*Eucalyptus* sp.) plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 245–255, 2013.

LIN, X.; FENG, Y.; ZHANG, H.; CHEN, R.; WANG, J.; ZHANG, J.; et al. Long-Term Balanced Fertilization Decreases Arbuscular Mycorrhizal Fungal Diversity in an Arable Soil in North China Revealed by 454 Pyrosequencing. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 5764–5771, 2012.

MEHARG, A. A. The mechanistic basis of interactions between mycorrhizal associations and toxic metal cations. **Mycological Research**, v. 107, p. 1253–1265, 2003.

MELLO, A. H.; KAMINSKI, J.; ANTONIOLLI, Z. I.; SANTOS, L. C.; SOUZA, E. L.; SCHIRMER, G. K.; GOULART, R. M. Influência de substratos e fósforo na produção de mudas micorrizadas de *Acacia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 3, p. 321-327, 2008.

MIRANSARI, M. Arbuscular mycorrhizal fungi and uptake of nutrients. In: Aroca R (ed) Symbiotic endophytes. **Springer**, v. 37, p. 253–270, 2013.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Spore density and root colonization by arbuscular fungi in preserved or disturbed *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. ecosystems. **Scientia Agricola**, v.63, p.380-385, 2006.

MOREIRA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TSAI, S. M.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; Cardoso, E. J. B. N. Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil Pine in the field and in the greenhouse. **Mycorrhiza** v. 17, p. 519-526, 2007a.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, SM.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. M. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 393–399. 2007b.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular Mycorrhizal fungal communities in native and in replanted *Araucaria* Forest. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n. 5, p. 677-684, 2009.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Doses de fósforo determinam a prevalência de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia*. **Ciência florestal**, v. 22, n. 4, p. 813-820, 2012.

MOREIRA, M.; ZUCCHI, M. I.; GOMES, J. E.; ALVES-PEREIRA, A.; CARDOSO, E. J. *Araucaria angustifolia* aboveground roots presented high arbuscular mycorrhizal fungal colonization and diversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Pedosphere**, v. 26, p. 561–566, 2016.

MORTON, J. B.; BENTIVENGA, S. P.; WHEELER, W. W. Germ plasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. **Mycotaxon**, v. 48, p.491-528, 1993.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology Advances**, v. 32, p. 429-448, 2014.

NOURI, E.; BREUILLIN-SESSOMS, F.; FELLER, U.; REINHARDT, D. Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in *petunia hybrida*. **Plos one**, v. 9, p. 1-14, 2014.

PIOTROWSKI, J. S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J. N.; GRAHAM, J. M.; RILLIG, M. C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species, **New Phytologist**, vol. 164, no. 2, pp. 365–373, 2004.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR, M.W.; VANDERLEVDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. **Field Crops Research**, v. 117, p. 169–176, 2010.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIQUEIREDO, F. A. M. M. de A. Arbuscular mycorrhizal fungi on growth and mineral nutrition of *Tectona grandis* L. F. seedlings. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2018.

SAIA, S.; BENITÉZ, E.; GARCIA-GARRIDO, J.M.; SETTANNI, L.; AMATO, G.; GIAMBALVO, D. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on total plant nitrogen uptake and nitrogen recovery from soil organic material. **The journal of agricultural Science**, v. 152, p. 370–378, 2014.

SANTOS A. L. W.; ELBL, P.; NAVARRO, B. V.; OLIVEIRA, L. F. DE; SALVATO, F.; BALBUENA, T. S.; FLOH, E. I. S. Quantitative proteomic analysis of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze cell lines with contrasting embryogenic potential. **Journal of Proteomics**, v. 130, p. 180–189, 2016.

SANTOS, R. S.; FERREIRA, J. S.; SCORIZA, R. N. Inoculum production of arbuscular mycorrhizal fungi native to soils under different forest covers. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 2, p. 197-204, 2017.

SILVA, L. X.; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, G. AL da; GOTO, B. T.; OLIVEIRA, J. de P.; BURITY, H. A. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de plantio de leucena e sábia no estado de Pernambuco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 427-435, 2007.

SURESH, S. N.; NAGARAJAN, N. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in evergreen vegetation of western ghats, **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 4, n. 1, p. 415–419, 2010.

TAHAT, M. M.; SIJAM, K. Mycorrhizal Fungi and Abiotic Environmental Conditions Relationship. **Research Journal of Environmental Sciences**, v. 6, p. 125-133, 2012.

TOLJANDER, J. F.; SANTOS-GONZALEZ, J. C.; TEHLER, A.; FINLAY, R. D. Community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria in the maize mycorrhizosphere in a long-term fertilization trial. **FEMS Microbiology ecology**, v. 65, p.323–338, 2008.

VILCATOMA-MEDINA, C.; KASCHUK, G.; ZANETTE, F. Colonization and spore richness of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria* nursery seedlings in Curitiba, Brazil. **International Journal of Agronomy**, v. 2018, n. 1-6, 2018.

ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; DE SOUZA, P. V. D. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied soil Ecology**, v. 25, p.245–255, 2004.

ZANDAVALLI, R. B.; STURMER, S. L.; DILLENBURG, L. R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forest with *Araucaria* in Southern Brazil. **Hoehnea**, v. 35, n.1, p. 63-68, 2008.

ZANETTE, F.; DANNER, M.A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. (2017) **Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia***. In: Wendling I, Zanette F (eds) *Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios*. Embrapa, Brasília, pp 15–39.

5 CAPITULO III: EFEITO DA INOCULAÇÃO DOS FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO EM MUDAS DE *Araucaria angustifolia*

RESUMO

Com o fim de estimular o melhor crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e reduzir os custos na utilização da fertilização fosfatada, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da inoculação de espécies de FMA e a fertilização fosfatada em mudas de *A. angustifolia* com base no crescimento e estado nutricional para produção de mudas de boa qualidade. Os pinhões de araucária foram semeadas em sacos plásticos de 10 L com mistura de substrato comercial e areia lavada na proporção 1:1, quando germinadas foram submetidas a inoculação com uma média de 80 esporos em 100 g de material de cinco espécies de FMA (*Gigaspora margarita*, *Rhizophagus intraradices*, *Acaulospora colombiana*, *Acaulospora scrobiculata* e *Dentiscutata heterogama*), 100 g de solo da floresta de araucária de 50 anos, dois tipos de adubação fosfatada com produto comercial superfosfato simples (25 e 100 mg kg⁻¹ de P₂O₅) e a testemunha. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com sete repetições para cada tratamento com duas avaliações (75 e 150 dias após a germinação). Foram avaliados os parâmetros de crescimento, teor do macro e micronutrientes tanto da parte aérea como na raiz, colonização radicular e o efeito micorrízico dos nutrientes extraídos. Os dados foram submetidos às análise de variância, correlação e componentes principais (PCA). A inoculação de espécies de FMA proporciona respostas favoráveis nos parâmetros de crescimento, colonização radicial e na extração dos macro e microelementos destacando a mistura de espécies de FMA da floresta de 50 anos, *Rhizophagus intraradices* e *Acaulospora colombiana*. A adubação do fósforo com 25 mg P₂O₅ destaca de maneira significativa nos parâmetros de crescimento das mudas em comparação dos demais tratamentos, além de permitir uma eficiente colonização radicial.

Palavras chaves: Pinheiro do Paraná. Nutriente. Fertilização. Microorganismos.

5 CHAPTER III: EFFECT OF INOCULATION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND PHOSPHATE FERTILIZATION TO GROWTH AND DEVELOPMENT IN SEEDLINGS OF *Araucaria angustifolia*

ABSTRACT

In order to stimulate the best growth of *Araucaria angustifolia* seedlings and to reduce the use of phosphate fertilization, the aim of the present study was to evaluate the effect of inoculation of AMF species and phosphate fertilization on *A. angustifolia* seedlings based on growth and nutritional status to produce good quality seedlings. Araucária pine nuts seeds were sown in 10 L plastic bags with commercial substrate mixture and washed sand in 1:1 ratio, when germinated they were inoculated with an average of 80 spores in 100 g of material from five FMA species (*Gigaspora margarita*, *Rhizophagus intraradices*, *Acaulospora colombiana*, *Acaulospora scrobiculata* e *Dentiscutata heterogama*), 100 g of araucária forest soil of 50 years old, two types of phosphate fertilization with commercial single superphosphate product (25 and 100 mg kg⁻¹ of P₂O₅) and the control. The treatments were distributed in a completely randomized design with seven replicates for each treatment with two evaluations (75 and 150 days after germination). The parameters of growth, macro and micronutrients content of both shoot and root, root colonization and the mycorrhizal effect of extracted nutrients. Data were submitted to analysis of variance, correlation and main components (PCA). The inoculation of the AMF species provides favorable responses in the growth parameters, root colonization and extraction of macro and microelements, highlighting the mixture of FMA species from the 50 year old forest, *Rhizophagus intraradices* and *Acaulospora colombiana*. Phosphorus fertilization with 25 mg P₂O₅ stands out significantly in the growth parameters of the seedlings in comparison to the other treatments, besides allowing an efficient root colonization.

Key-words: Paraná pine. Nutrient. Fertilization. Microorganisms.

5.1 INTRODUÇÃO

A espécie arbórea *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze (pinheiro-do-Paraná) é endêmica da América do Sul e a espécie mais importante da Floresta do Paraná devido a fatores econômicos, ecológicos e interesses culturais (INZA et al., 2018). A espécie é naturalmente distribuída na região leste da floresta do estado do Paraná, e o Sul do Brasil é a área de distribuição de espécies com maior diversidade genética (FERREIRA DE SOUZA et al., 2009; ZANETTE et al., 2017). No entanto, a intensa exploração predatória da cultura iniciada no século XIX reduziu suas reservas naturais a menos de 3% de sua área inicial (AQUINO, 2005; BARBOSA et al., 2017).

Apesar de inicialmente algumas empresas terem iniciado o reflorestamento com *A. angustifolia*, a introdução no Brasil de coníferas exóticas, levou essas empresas a substituir o reflorestamento com *A. angustifolia* por essas espécies exóticas. A baixa exigência em fertilidade do solo e os elevados incrementos na produção de madeira justificaram essa troca, pois as espécies de *Pinus* demonstram capacidade extraordinária de gerenciamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade sem, no entanto, manifestar sintomas visuais claros de deficiência (HILLIG et al., 2012; SCHNEIDER et al., 2014).

Ao contrário de outras coníferas, a *A. angustifolia* é nutricionalmente exigente, especialmente em fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K), que são os nutrientes mais demandados por esta espécie (SIMÕES e COUTO, 1973), resultando em custo elevado no manejo de adubação de araucária (BARBOSA et al., 2017).

Uma estratégia para minimizar esses custos, consiste no estabelecimento de associações entre o sistema radicial de mudas de *A. angustifolia* e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ainda no estágio de produção de mudas, pois há evidências experimentais que demonstram a dependência da espécie em relação aos FMAs (MOREIRA-SOUZA e CARDOSO, 2002; VILCATOMA-MEDINA et al., 2018).

Além disso, para que a araucária seja cultivada e preservada de modo sustentável é necessária a adoção de tecnologias que melhorem o sistema de produção de mudas, sobretudo, no que diz respeito à nutrição das plantas. Os FMAs estimulam o crescimento das plantas por promover maior absorção de água e nutrientes pelas plantas micorrizadas (BAUM et al., 2015), em especial o fósforo por causa de sua reduzida mobilidade no solo. Assim, a avaliação da eficiência de uso

de P por FMA e seu impacto na nutrição de mudas de *A. angustifolia* pode fornecer informações importantes no manejo nutricional da cultura a fim de otimizar seu crescimento e reduzir os custos com a fertilização fosfatada.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da inoculação de espécies de FMA e a fertilização fosfatada em mudas de *A. angustifolia* com base no crescimento e estado nutricional para produção de mudas de boa qualidade.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido a céu aberto no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná–UFPR, em Curitiba–PR (25°25'47" S e 49°16'19" O, 950 m). Foram coletadas sementes do mesmo lugar e semeadas em agosto de 2017, em sacos plásticos de 10 litros com mistura de substrato comercial (Mecplant®) e areia lavada na proporção 1:1, com as seguintes características: pH em CaCl_2 5,1; 1,64 g dm^{-3} de matéria orgânica; 206 mg dm^{-3} de P; 0,74; 8,4; 6; e 5 mmol $_c$ dm^{-3} K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e H^+ + Al^{+3} . Um dia antes da semeadura os pinhões foram submergidos em água para avaliação da capacidade de hidratação.

Após a germinação dos pinhões, as plântulas (altura média de cinco cm) foram submetidas por separado a inoculação com uma concentração média de 80 esporos em 100 g de material de cinco espécies de FMA (*Gigaspora margarita*, *Rhizophagus intraradices*, *Acaulospora colombiana*, *Acaulospora scrobiculata* e *Dentiscutata heterogama*), 100 g de solo da floresta de araucária de 50 anos da Fazenda Experimental da UFPR, no município de Pinhais (além da presença das espécies de FMA, apresentaram as seguintes características: pH em CaCl_2 4,8; 1,21 g dm^{-3} de matéria orgânica; 4,5 mg dm^{-3} de P; 0,24; 8,9; 4,7; e 10,2 mmol $_c$ dm^{-3} K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e H^+ + Al^{+3}), dois tipos de adubação fosfatada com produto comercial superfosfato simples (25 e 100 mg kg^{-1} de P_2O_5) e a testemunha.

Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente nas unidades experimentais (sacos plásticos), seguindo um delineamento inteiramente casualizado com sete repetições para cada tratamento com duas avaliações (75 e 150 dias após a germinação), totalizando 126 sacos plásticos.

Os inóculos das cinco espécies de FMA foram multiplicados em braquiária (*Brachiaria decumbens*) utilizando vasos de cinco litros em casa de vegetação do Departamento da Fitotecnia e Fitossanidade da UFPR. O substrato utilizado foi a

mistura de areia lavada e vermiculita de texturas médias na proporção 1:1, previamente esterilizada em autoclave a 120 °C por dois períodos de uma hora em intervalo de 24 h.

Na FIGURA 1, são apresentadas a preparação tanto da multiplicação das espécies de FMA como a montagem do experimento para o crescimento das mudas de araucária até o momento da inoculação dos FMA, adubação fosfatada e a testemunha.

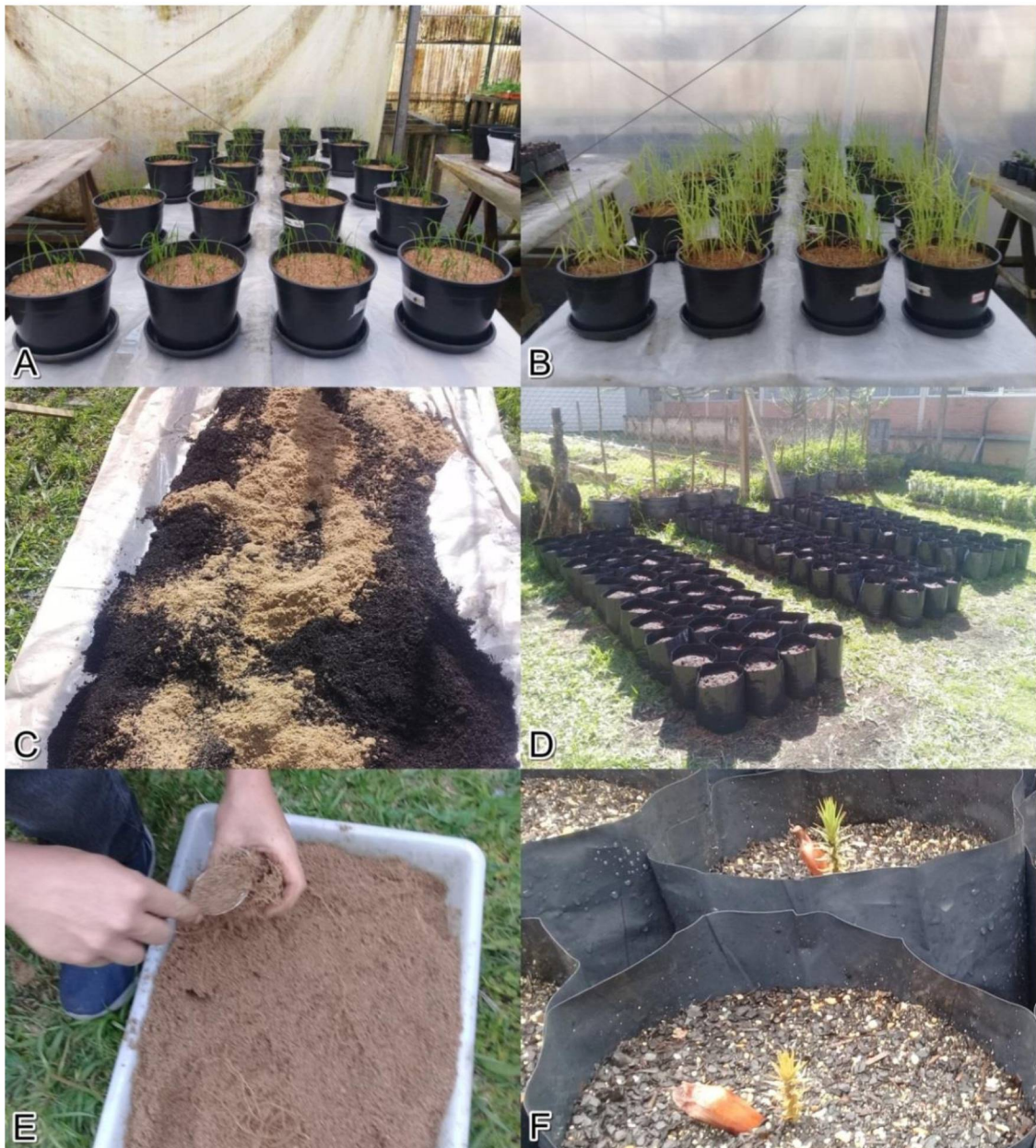


FIGURA 1. MULTIPLICAÇÃO DE ESPÉCIES DE FMA NA *Brachiaria decumbens* (A e B), PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO (C e D) E INOCULAÇÃO DOS FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA (E e F) EM MUDAS GERMINADAS DE *Araucaria angustolia* NO VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

FONTE: O autor (2018).

Após 75 e 150 dias da germinação das sementes de araucária foram avaliados a altura (H); diâmetro basal do caule (D); comprimento da raiz (ComR); massa fresca da parte aérea (MFPA) na qual compreende: acícula e tronco; massa fresca das raízes (MFR); massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR), obtidos quando secado em estufa a 60 °C, até peso constante.

Os teores de C e N foram determinados por combustão seca, com analisador de elementos não metais (Elementar, Vario EL III), utilizando cerca de 15 mg de cada parte. Para análise dos demais elementos foi utilizada metodologia adaptada de Martins e Reissmann (2007). Perto de 0,5 g foram incinerados em cadinhos de porcelana em mufla a 500 °C por 4 horas. Em seguida foi adicionado 10 mL de HCl 3 mol L⁻¹ e os cadinhos permaneceram por 10 minutos em chapa de aquecimento a 70 °C. Após esse período, as soluções de digestão foram filtradas em papel filtro (diâmetro de poros 8 µm) e os extratos coletados em balões volumétricos de 50 mL. Para aferir os balões volumétricos se utilizou água deionizada. Nos extratos obtidos foram determinados: P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn com espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (Varian, 720-ES). As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

Para o caso das raízes, foram selecionadas as mais finas sendo elas mantidas em KOH 10% por 24 horas, após tratadas em banho maria a 80 °C por uma hora. Para o clareamento das mesmas foi adicionado H₂O₂ e em seguida foram lavadas e coradas com tinta de caneta azul, sendo mantidas novamente em banho maria por cinco minutos e adicionado lactoglicerol. Na contagem da colonização das micorrizas, as raízes foram colocadas em placa quadriculada 1x1 cm com uso do microscópio estereoscópico, segundo a metodologia descrita por Giovanetti e Mosse (1980). No final do experimento, foi calculado o efeito micorrízico (EM) por cada elemento ou nutriente extraído, da seguinte maneira:

$$EM = \frac{[]_{150} \times MS150 - []_{75} \times MS75}{[]_{150} \times MS150} \times 100$$

Onde: Concentração da Extração de nutriente []; Massa seca aos 150 dias (MS150) e Massa seca aos 75 dias (MS75).

Os parâmetros de crescimentos avaliados, macro e micronutrientes presentes e a porcentagem de colonização radicial foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Também com essas variáveis explicativas foram submetidas à análise de correlação

e componentes principais (PCA), usando o software estatístico R (R Core Team, 2018).

5.3 RESULTADOS

São apresentados na TABELA 1, os parâmetros de crescimento, MF e MS das mudas de araucária após 75 dias de idade, onde a altura não apresentou diferenças significativas, mas a maior média de altura foi obtida quando as plantas foram inoculadas com *Rhizophagus intraradices* e menor quando adubada na menor dose de fósforo com valores de 25,71 e 19,57 cm respectivamente. Similarmente à altura, o comprimento da raiz (ComR) não apresentou diferenças significativas, no entanto, as plantas inoculadas com fungos da floresta de 50 anos obteve uma média de 20,80 cm. O diâmetro apresentou diferenças significativas, com maior média obtida no tratamento de maior dose de fósforo, com valor médio de 4,22 mm.

TABELA 1. PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

Tratamentos	Altura	ComR	Diâmetro	Acícula		Tronco		Raiz	
				MF	MS	MF	MS	MF	MS
	cm		mm	g planta ⁻¹					
<i>Gigaspora margarita</i>	22,00 ^{a*}	20,40 ^a	3,94 ^{ab}	4,20 ^{ab}	1,13 ^a	3,30 ^{ab}	0,68 ^{abc}	2,40 ^a	0,52 ^a
<i>Rhizophagus intraradices</i>	25,71 ^a	20,10 ^a	4,07 ^{ab}	4,60 ^a	1,23 ^a	3,70 ^a	0,81 ^a	2,40 ^a	0,54 ^a
<i>Acaulospora colombiana</i>	23,29 ^a	20,00 ^a	3,96 ^{ab}	3,80 ^{abc}	1,00 ^a	3,50 ^{ab}	0,74 ^a	2,10 ^{ab}	0,47 ^{ab}
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	20,43 ^a	20,50 ^a	3,6 ^{ab}	3,00 ^c	0,79 ^a	2,40 ^c	0,54 ^{bc}	2,00 ^{ab}	0,42 ^{ab}
<i>Dentiscutata heterogama</i>	21,00 ^a	19,70 ^a	3,87 ^{ab}	3,80 ^{abc}	1,02 ^a	2,70 ^{bc}	0,55 ^{bc}	2,20 ^{ab}	0,45 ^{ab}
Floresta 50 anos	22,43 ^a	20,80 ^a	3,74 ^{ab}	4,20 ^{ab}	1,14 ^a	3,30 ^{ab}	0,72 ^{ab}	2,60 ^a	0,55 ^a
25 mg P ₂ O ₅	19,57 ^a	20,10 ^a	3,39 ^b	3,30 ^{bc}	0,90 ^a	2,40 ^c	0,51 ^c	1,60 ^b	0,35 ^b
100 mg P ₂ O ₅	23,29 ^a	18,80 ^a	4,22 ^a	4,30 ^{ab}	1,12 ^a	3,20 ^{abc}	0,63 ^{abc}	2,30 ^{ab}	0,48 ^{ab}
Testemunha	23,86 ^a	20,40 ^a	4,04 ^{ab}	4,20 ^{ab}	1,18 ^a	3,60 ^a	0,80 ^a	2,30 ^{ab}	0,51 ^a

Onde: ComR (Comprimento da Raiz); MF (Massa Fresca); MS (Massa Seca).

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A MF e MS de acículas e tronco apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos em que o *Rizophagus intraradices* proporcionou maior média em relação aos demais tratamentos. Enquanto a MF e MS das raízes apresentou diferenças significativas entre os tratamentos em que os FMA da floresta de 50 anos proporcionou maior valor em comparação às demais medias (TABELA 1).

A TABELA 2 mostra as mesmas avaliações relativas à TABELA 1, mas realizados aos 150 dias. Para altura e ComR houve diferenças significativas entre os

tratamentos com o tratamento de menor dose de fósforo apresentando as maiores médias de 34,67 e 30,5 cm respectivamente (FIGURA 2A). Enquanto no diâmetro, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas, mas as maiores médias foram obtidas quando adubadas nas diferentes concentrações de fósforo e inoculados com floresta de 50 anos (FIGURA 2B).

TABELA 2. PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADAS APÓS 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

Tratamentos	Altura	ComR	Diâmetro	Acícula		Tronco		Raiz	
				MF	MS	MF	MS	MF	MS
	cm		mm	g planta ⁻¹					
<i>Gigaspora margarita</i>	28,57 ^{ab*}	27,50 ^{ab}	4,77 ^a	7,59 ^{de}	2,40 ^{cd}	6,12 ^d	2,25 ^{cd}	4,45 ^b	1,43 ^c
<i>Rhizophagus intraradices</i>	30,14 ^{ab}	29,03 ^a	4,71 ^a	9,14 ^{cd}	2,88 ^c	5,82 ^d	1,79 ^{cd}	4,53 ^b	1,47 ^{bc}
<i>Acaulospora colombiana</i>	30,29 ^{ab}	27,50 ^{ab}	4,79 ^a	6,30 ^e	2,44 ^{cd}	6,30 ^{cd}	2,27 ^{cd}	5,68 ^{ab}	2,15 ^{abc}
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	28,43 ^{ab}	30,00 ^a	4,61 ^a	6,42 ^e	2,22 ^{cd}	5,28 ^d	1,94 ^{cd}	5,57 ^{ab}	1,86 ^{abc}
<i>Dentiscutata heterogama</i>	27,00 ^b	26,00 ^{ab}	4,67 ^a	6,52 ^e	2,22 ^{cd}	5,13 ^d	1,73 ^d	4,38 ^b	1,46 ^{bc}
Floresta 50 anos	30,29 ^{ab}	26,51 ^{ab}	5,04 ^a	9,48 ^{bc}	3,02 ^{bc}	8,03 ^{bc}	2,55 ^{bc}	4,37 ^b	1,45 ^{bc}
25 mg P ₂ O ₅	34,67 ^a	30,50 ^a	5,88 ^a	14,08 ^a	4,57 ^a	10,03 ^a	3,18 ^{ab}	7,38 ^a	2,41 ^a
100 mg P ₂ O ₅	30,86 ^{ab}	27,04 ^{ab}	5,33 ^a	11,30 ^b	3,87 ^{ab}	9,52 ^{ab}	3,33 ^a	6,87 ^a	2,20 ^{ab}
Testemunha	27,57 ^b	22,00 ^b	4,84 ^a	4,21 ^f	1,69 ^d	5,33 ^d	2,01 ^{cd}	6,50 ^a	1,85 ^{abc}

Onde: ComR (Comprimento da Raiz); MF (Massa Fresca); MS (Massa Seca).

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



FIGURA 2. ARQUITETURA DAS MUDAS DE ARAUCÁRIA COM ADUBAÇÃO FOSFATADA COM 25 mg P₂O₅ (A), INOCULAÇÃO DA FLORESTA 50 ANOS (B) E A TESTEMUNHA (C) GERMINADAS APÓS 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

FONTE: O autor (2018).

Na TABELA 2, a MF e MS tanto para acículas, tronco e raízes, também a menor dose de P destacou e diferenciou-se do resto obtendo as maiores médias. Os menores valores foram evidenciados na testemunha, independente do tratamento (FIGURA 2C).

A presença de macro e microelementos presentes na acícula, tronco e raiz das mudas após 75 dias da germinação são apresentados no ANEXO 1, onde a maior presença do C com a inoculação de FMA da espécie *A. scrobiculata*, enquanto o N, Ca e P foram quando adubado com a maior dose deste último macroelemento diferenciando-se do restante. Para o K em geral se destacou na presença da espécie *G. margarita* e para o Mg foi *D. heterogama*.

Com relação aos microelementos, a presença do Fe nas diferentes partes das mudas foi superior quando inoculado *D. heterogama*, *R. intraradices* e *G. margarita*. Enquanto para o Cu aconteceu quando inoculado *D. heterogama* e no Mn para a maior dose de P. Já o Zn foi superior quando inoculado *G. margarita*, no tronco se deu na testemunha e na raiz quando inoculados *D. heterogama* e na floresta de 50 anos.

No ANEXO 2 também são apresentados a presença dos macro e microelementos nas mudas 150 dias após a germinação onde a maior porcentagem do C na acícula, tronco e raiz foi observado quando inoculado com *A. colombiana*, no entanto o N se destacou para a espécie *R. intraradices* e a floresta de 50 anos. Enquanto o K destacou-se a floresta de 50 anos, no caso do Ca se diferenciou em relação aos demais nutrientes quando adubado com a maior dose de P e o Mg quando inoculado *D. heterogama*.

Dentre os microelementos, o Fe apresentou diferenças significativas nas diferentes partes das mudas, sendo na acícula quando inoculado com *A. colombiana*, para o caso do tronco e raiz nas diferentes doses de P. No Cu quando inoculado os diferentes FMA obteve os maiores valores. O Mn se diferenciou na acícula e tronco diante na presença da maior dose de P enquanto na raiz foi a espécie *D. heterogama*. O Zn se diferenciou na acícula quando inoculado com a floresta de 50 anos, enquanto o tronco e raiz frente à espécie *R. intraradices*.

Na FIGURA 3, é mostrada a porcentagem de extração final dos elementos avaliados de cada parte da planta, destacando na maioria dos elementos o tratamento quando adubado com a menor dose de P, sobretudo na parte aérea, salvo exceção com Fe, Cu e Mn que apresentaram valores muito elevados na raiz.

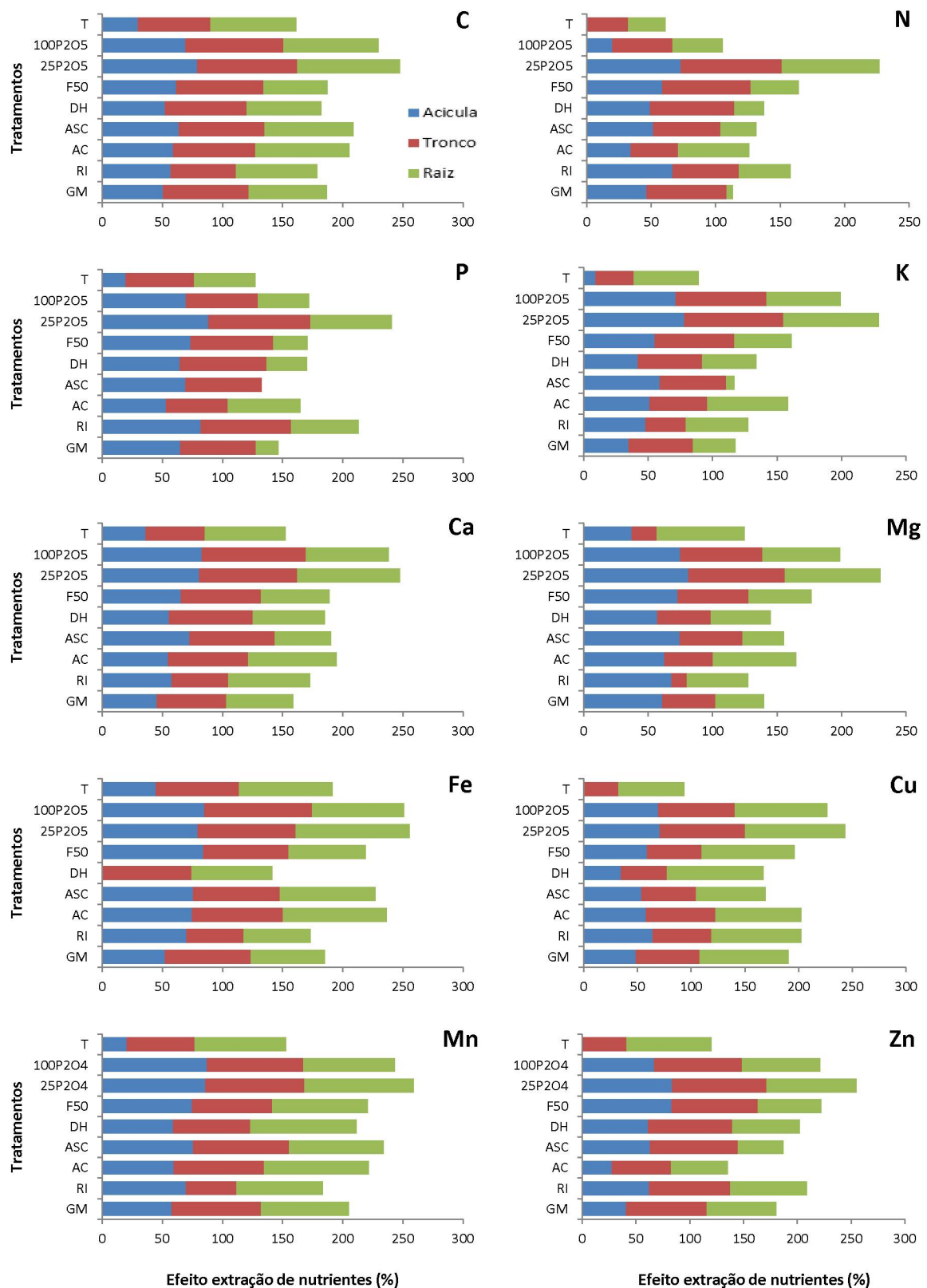


FIGURA 3. EFEITO DE EXTRAÇÃO DOS MACRO E MICROELEMENTOS NA ACÍCULA, TRONCO E RAIZ DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADAS APÓS 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

Enquanto entre os FMA inoculados, destacaram o gênero *Acaulospora* das concentrações extraídas de C, K, Ca, Fe, Mn e Mg. Sendo *A. colombiana* quem destacou nos cinco primeiros elementos e *A. scrobiculata* no ultimo elemento, ambos com maiores porcentagens na parte aérea. A espécie *Rizophagus intraradices* e a mistura de FMA da floresta de 50 anos destacaram na extração dos principais macronutrientes como N e P, sobretudo na parte aérea e os microelementos Cu e Zn na raiz e parte aérea, respectivamente. Também cabe mencionar que a testemunha foi quem apresentou as menores porcentagens de extração, independente do nutriente avaliado.

Na FIGURA 4, observa-se a porcentagem de colonização radicial das mudas em duas épocas, onde na primeira avaliação aos 75 dias destacam as espécies *R. intraradices* e *A. colombiana* com as maiores porcentagens com 48%, enquanto na segunda avaliação aos 150 dias se obtém os máximos valores na maioria de espécies de FMA inoculadas juntamente com as diferentes doses de P, mas destacando a floresta de 50 anos com 68% de colonização.

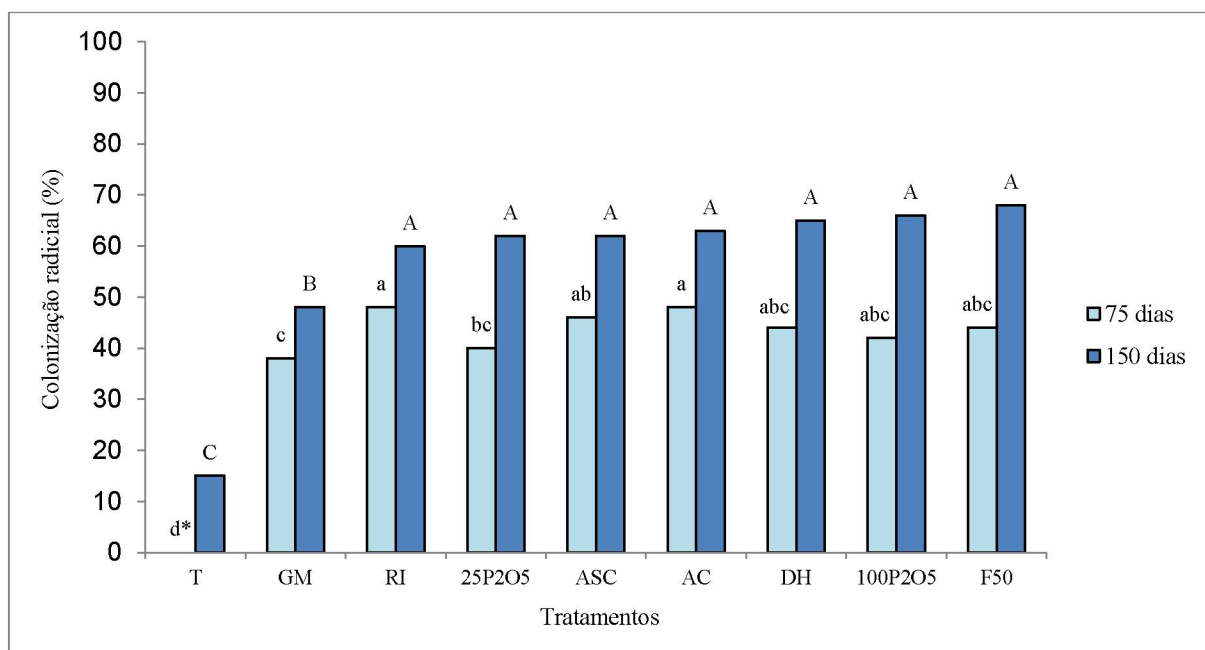


FIGURA 4. COLONIZAÇÃO RADICIAL DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADAS APÓS 75 E 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL. Onde: GM: *Gigaspora margarita*; RI: *Rizophagus intraradices*; AC: *Acaulospora colombiana*; ASC: *Acaulospora scrobiculata*; DH: *Dentiscutata heterogama*; F50: Floresta 50 anos; 25P₂O₅: 25 mg kg⁻¹ P₂O₅ e 100P₂O₅: 100 mg kg⁻¹ P₂O₅; T: Testemunha.

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na FIGURA 5, são apresentadas as matrizes de correlação que existem entre as médias dos tratamentos na porcentagem de colonização, parâmetros de crescimento, presença dos macro e micronutrientes para as duas épocas de avaliação, aos 75 dias (FIGURA 5A); existe uma correlação positiva entre MFPA, MSPA, MFR, MSR, H e D. Por outro lado entre os macro e microelementos, foi observado que N, P, K e Ca apresentaram correlação positiva frente a Mn tanto na PA (parte aérea) como na R (raiz). Enquanto o Cu teve correlação frente a Fe e Zn tanto na PA e R. Enquanto a Colonização radicial (COL) esta teve uma leve correlação positiva frente a N, Ca e Mg tanto na PA e R.

Entretanto a correlação aos 150 dias (FIGURA 5B); foi semelhante ao observado para os 75 dias, onde a correlação positiva entre os parâmetros de crescimento. Enquanto os macro e microelementos apresentaram correlação positiva tanto na PA e R, no caso da COL teve correlação positiva frente N, Cu e Fe tanto na PA quanto para R, no P e K na PA e por ultimo com o ComR.

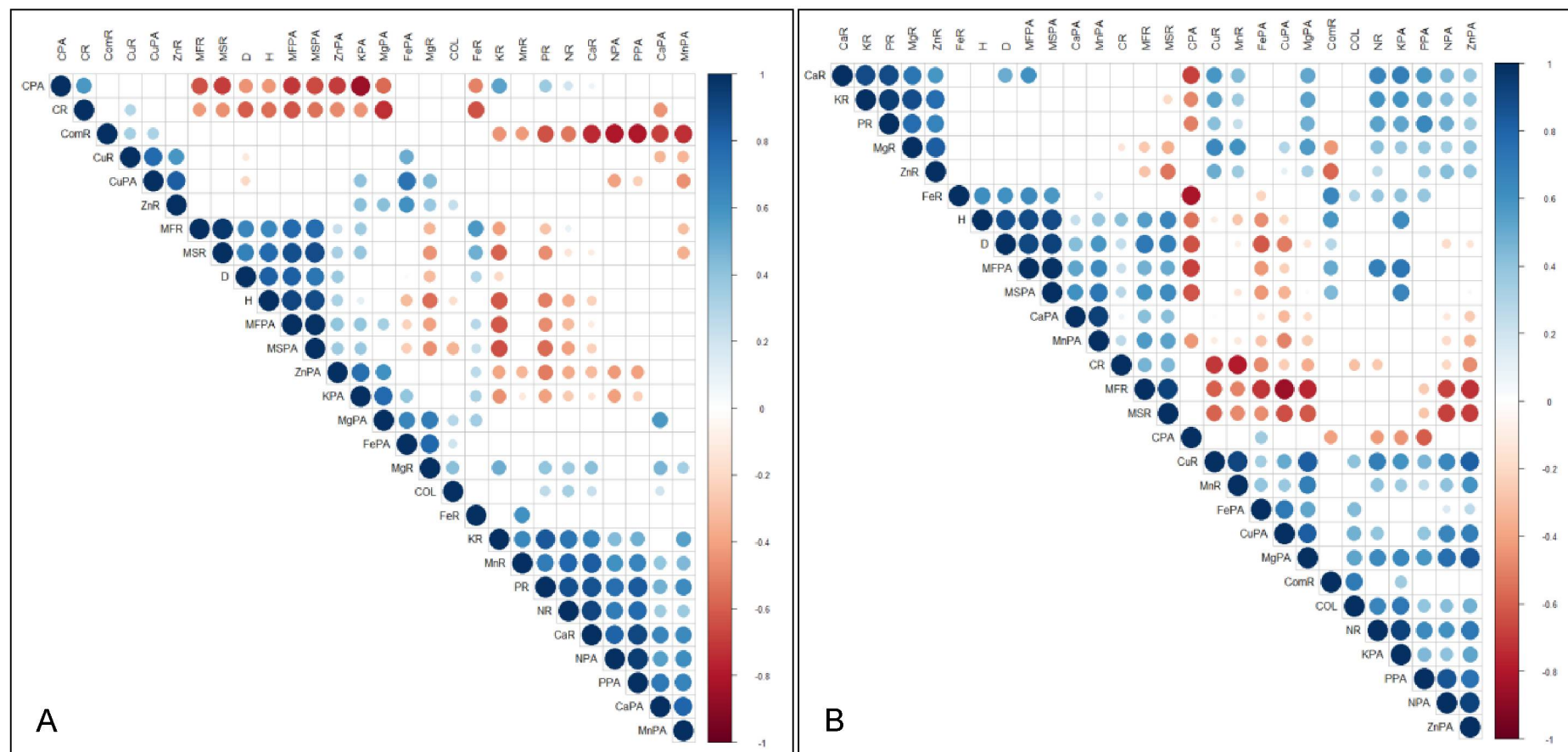


FIGURA 5. MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS MÉDIAS DOS TRATAMENTOS NA PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO, PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, PRESENÇA DOS MACRO E MICRONUTRIENTES EM MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 (A) E 150 DIAS (B) EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

O PCA baseado na ordenação entre os parâmetros de crescimento e porcentagem de colonização com as espécies inoculadas de FMA, adubação fosfatada e a testemunha são apresentadas na FIGURA 6, com eixos perpendiculares 1 e 2. Quando avaliado aos 75 dias após a germinação (FIGURA 6A), o resultado forneceu a maioria da separação dos tratamentos dos parâmetros avaliados.

Os eixos 1 e 2 representam 64,1 e 17,5 %, da variabilidade respectivamente, o que explica um acumulado de 81,6 % da variabilidade total dos dados. Sendo que os parâmetros de crescimento (MFPA, MSPA, MFR, MSR e H) são favorecidos na presença das espécies *Gigaspora margarita* e *Rizophagus intraradices*, acontecendo o mesmo também para o comprimento da raiz frente a Floresta de 50 anos e a porcentagem de colonização frente a *Dentiscutata heterogama* e *Acaulospora colombiana* respectivamente. Enquanto *Acaulospora scrobiculata*, as adubações fosfatadas e a testemunha foram diferentes, ficando muito afastadas.

Na avaliação aos 150 dias (FIGURA 6B), apresentou também uma separação entre os tratamentos, sobretudo entre as espécies inoculadas de FMA nas adubações fosfatadas e na testemunha. Os eixos 1 e 2 foram 63,7 e 22,8 % da variabilidade respectivamente, o que explica um acumulativo de 86,5 % da variabilidade total dos dados. Sendo que os parâmetros de crescimento (MFPA, MSPA, MFR, MSR e D) são favorecidos na presença de *A. colombiana* e as adubações fosfatadas, destacando, sobretudo $100\text{P}_2\text{O}_5$. Enquanto o comprimento da raiz e a porcentagem de colonização frente à presença da floresta de 50 anos. Devesse mencionar, também, que a testemunha ficou muito afastada dos parâmetros avaliados.

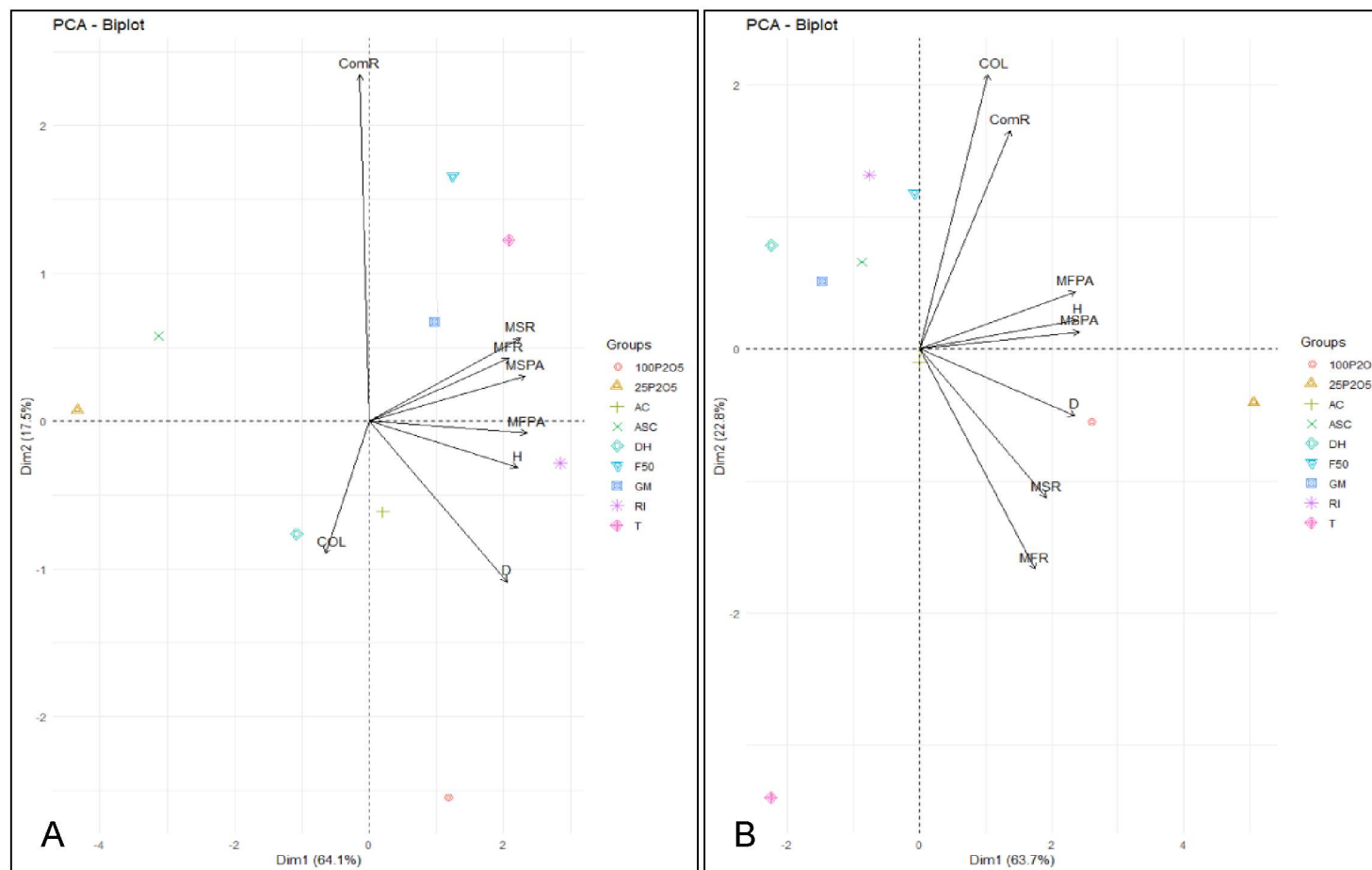


FIGURA 6. DIAGRAMA DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) EM MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 (A) E 150 DIAS (B) EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL. Com presença dos parâmetros de crescimento e porcentagem de colonização (COL). GM: *Gigaspora margarita*; RI: *Rhizophagus intraradices*; AC: *Acaulospora colombiana*; ASC: *Acaulospora scrobiculata*; DH: *Dentiscutata heterogama*; F50: Floresta 50 anos; 25P₂O₅: 25 mg kg⁻¹ P₂O₅ e 100P₂O₅: 100 mg kg⁻¹ P₂O₅; T: Testemunha; H: Altura; D: Diâmetro; ComR: Comprimento da Raiz; MFPA: Massa fresca parte aérea; MSPA: Massa seca parte aérea; MFR: Massa fresca da Raiz; MSR: Massa seca da Raiz.

5.4 DISCUSSÃO

A inoculação de espécies de FMA e adubação fosfatada favoreceram o crescimento das mudas de araucária, diferenciando-se da testemunha tanto nos parâmetros de crescimento, presença de macro e microelementos e porcentagem de colonização. Como é de conhecimento geral pelos trabalhos publicados anteriormente, onde se explica dos benefícios das associações das micorrizas com a cultura na fase adulta (MOREIRA-SOUZA et al., 2003; ZANDAVALLI et al., 2008; MOREIRA et al., 2009; MOREIRA et al., 2016), mas estudos são escassos no que se refere a inoculação de espécies de FMA nas mudas (MOREIRA-SOUZA et al., 2002; ZANDAVALLI et al., 2004; MOREIRA et al., 2012) com o objetivo de produzir mudas com padrões de qualidade definidas

Dos três últimos autores mencionados quando inoculando em mudas, as espécies de FMA, *Glomus intraradices*, *Gigaspora rosea*, *Glomus clarum* (hoje conhecido como *Rhizophagus clarus*) e a mistura de espécies provenientes de solo nativo da floresta de araucária, obtiveram respostas favoráveis no crescimento das mudas. No presente estudo, das duas avaliações realizadas, destacaram a mistura de espécies de FMA da floresta de 50 anos, *R. intraradices*, e *A. colombiana* nessa ordem de importância, mas sem minimizar os resultados obtidos pelas outras espécies.

Segundo os resultados obtidos na primeira avaliação, onde em um período curto, foi *R. intraradices* quem destacou sobre as demais espécies. Acontecendo assim também em mudas de limão-amargo (*Poncirus trifoliata*) e vinca (*Catharanthus roseus*), que apresentaram considerável colonização radicial, ganho na altura e absorção de nutrientes (WANG et al., 2016; MONNERAT et al., 2018). Essas respostas confirmam que esta espécie atinge respostas favoráveis em menos espaços de tempo.

Do gênero *Acaulospora*, foi a espécie *A. colombiana* quem respondeu favoravelmente no crescimento das mudas, apresentando uma elevada colonização micorrízica e o ganho em teores de macro e micronutrientes, sobretudo na parte aérea. Assim como acontecido também nos trabalhos com mudas de gravioleira frente a uma importante presença de composto orgânico (GOMES JÚNIOR et al., 2018) e o cedro australiano na presença de baixa disponibilidade de P (SILVA et al.,

2017). Na qual confirma que esta espécie obtém respostas favoráveis frente à presença de matéria orgânica.

Enquanto o comportamento da espécie *D. heterogama* nas mudas de araucária, obteve respostas medianamente favoráveis na colonização radicular e absorção de nutrientes. Enquanto quando inoculado em mudas de videira da cultivar Paulsen em solo arenoso contaminado com fungicidas cúpricos e mudas de *Diospyros kaki* em substrato arenoso com presença considerável de P, foram muito eficientes (ROSA et al., 2016; MACHINESKI et al., 2018). Esses resultados confirmam que esta espécie se adapta melhor em solos arenosos.

A espécie *G. margarita* foi uma das que não obteve bons resultados quanto aos parâmetros de crescimento e colonização radicular nas mudas. Esse resultado é justificado pelo fato que o substrato utilizado apresenta boa disponibilidade de matéria orgânica e moderada acidez. Moreira-Souza; Cardoso (2002) mostraram que sob baixa disponibilidade de P, a espécie mostra maior eficiência micorrízica. Similarmente Budi et al. (2012) verificaram que a inoculação desta espécie com baixo conteúdo de P e alta presença de alumínio em mudas de cinamomo (*Melia azedarach*) foi favorável quando comparado com o controle.

A mistura dos FMA da floresta de araucária de 50 anos promoveu melhor resultado quando comparado com o resto de espécies inoculadas, já que esse solo além de conter as espécies de FMA contribui aportando macro e micronutrientes no substrato e corrige de certa maneira o pH do substrato, facilitando a diversidade de espécies presentes. Esses resultados foram confirmados por Moreira-Souza; Cardoso (2002) e Moreira et al. (2012).

A mistura dos FMA pode ser favorecido, sob condições de substrato com baixa quantidade de nutrientes, na qual é confirmado no trabalho de Camara et al. (2017) em mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*). Também essas espécies são desfavoráveis na presença de alto conteúdo de P (COLLINS e FOSTER, 2009), tal como os observados em mudas de guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*) (DALANHOL et al., 2017) e plantios de pera-asiática (*Pyrus pyrifolia* var. *culta*) (YOSHIMURA et al., 2013), com resultados pouco satisfatórios.

A inoculação dos FMA nas mudas de araucária promoveu maior ganho na produção de massa seca na parte aérea, não sendo assim na raiz (salvo exceção com *A. colombiana*) quando comparado com a testemunha (raiz principal grossa). Esse resultado também foi observado no trabalho de Zandavalli et al. (2004) quando

inoculado *Glomus clarum* em solo de ocorrência natural de *A. angustifolia* e diferente do observado por Moreira-Souza; Cardoso (2002), quando inoculado com *Gigaspora rosea*, *Glomus intraradices* e mistura de FMA em substrato com pH ácido, alto conteúdo de matéria orgânica e diferentes concentrações de P. Segundo Wu et al. (2012) e Wu et al. (2013), os FMA melhoram e aumentam a arquitetura do sistema radicular como o comprimento radicular, volume e número de raízes laterais, como os observados nas mudas inoculadas.

Com relação à extração de nutrientes nas mudas no final do experimento tanto da parte aérea como da raiz, observou-se que em geral essas concentrações tanto do macro e micronutrientes foram maiores nas mudas inoculadas com as diferentes espécies, mostrando uma eficiência quando comparadas com a testemunha. Sendo que as concentrações desses nutrientes na folha foram semelhantes quando comparados com as mudas de araucária maiores de um ano dos experimentos de Moreira-Souza; Cardoso (2002) e Zandavalli et al. (2004). Resultados com esses nutrientes também foram verificados em mudas da gravioleira (GOMES JUNIOR et al., 2018), pinhão manso (SABOYA et al., 2012) e café (FRANÇA et al., 2016).

Enquanto que na avaliação aos 75 dias a adubação fosfatada promoveu respostas favoráveis, na segunda avaliação aos 150 dias, a menor dose promoveu a maior altura, comprimento de raiz e eficiência na extração dos macro e micro nutrientes tanto da parte aérea como da raiz, diferenciando-se do resto de tratamentos. Mas foi com a maior dose de P aos 70 dias após a germinação, houve a formação do primeiro verticilo nas mudas. Segundo Saboya et al., (2012), o P é o nutriente mais importante nas primeiras fases de crescimento das mudas porque estimula a formação de raízes, sendo sua absorção beneficiada pela presença dos FMA, mais ainda de forma natural como acontece na araucária.

Do gráfico de correlação, destacasse a forte influência da porcentagem de colonização frente à presença dos macronutrientes tanto na parte aérea como na raiz. Isso se deve ao fato de que a presença desses nutrientes no substrato e a absorção deles pelas plantas foi favorecida pela presença das espécies de FMA. Quando aplicados em excesso, a colonização radicular e a biomassa das raízes são reduzidas, como foi o caso dos enxertos das macieiras (BERDENI et al., 2018).

Como observado no PCA, do final do experimento, a presença dos FMA e a adubação fosfatada influíram favoravelmente na porcentagem de colonização e nos

parâmetros de crescimento, respetivamente. Em estudo de Ndoye et al. (2012) com mudas de *Acacia senegal*, inóculos de espécies de FMA e associação com bactérias benéficas reagiram positivamente com esses parâmetros, além do conteúdo de nutrientes na parte aérea.

5.5 CONCLUSÕES

A inoculação de espécies de FMA proporciona respostas favoráveis nos parâmetros de crescimento, colonização radicial e na extração dos macro e microelementos destacando a mistura de espécies de FMA da floresta de 50 anos, *Rhizophagus intraradices* e *Acaulospora colombiana*.

A adubação do fósforo com 25 mg P_2O_5 destaca de maneira significativa nos parâmetros de crescimento das mudas em comparação dos demais tratamentos, além de permitir uma eficiente colonização radicial.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, F. M. **Cultivo da *Araucaria angustifolia***: análise de viabilidade econômico-financeira. Florianópolis: BRDE, 2005. 53 p.
- BARBOSA, J. Z.; CONSTANTINO, V.; ZANETTE, F.; MOTTA, A. C. V.; PRIOR, S. A. Soil fertility affects elemental distribution in needles of the conifer *Araucaria angustifolia*: a microanalytical study. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 257-266, 2017.
- BAUM, C.; EL-TOHAMY, W.; GRUDA, N. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 187, p. 131–141, 2015.
- BERDENI, D.; COTTON, T. E. A.; DANIELL, T. J.; MARTIN I. BIDARTONDO, M. I.; CAMERON, D. D.; EVANS, K. L. The Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonisation on Nutrient Status, Growth, Productivity, and Canker Resistance of Apple (*Malus pumila*). **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 1461, 2018.
- BUDI, S. W.; BAKHTIAR, Y.; MAY, N. L. Bacteria associated with arbuscula mycorrhizal spores *Gigaspora margarita* and their potential for stimulating root mycorrhizal colonization and neem (*Melia azedarach* Linn) seedling growth. **Microbiology Indonesia**, v. 6, p. 180–188, 2013.
- CAMARA, R.; FONSECA JUNIOR, A. M.; SOUSA, A. C. O.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA JUNIOR, J. Q. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* Perkins. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 449-458, 2017.
- COLLINS, C. D.; FOSTER, B. L. Community-level consequences of mycorrhizae depend on phosphorus availability. **Ecology**, v. 90, n. 9, p. 2567-2576, 2009.
- DALANHOL, S. J.; NOGUEIRA, A. C.; GAIAD, S.; KRATZ, D. Effect of mycorrhizae and fertilization on growth seedlings of *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg., produced in different substrates. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27. n. 3, p. 931-945, 2017.
- FERREIRA DE SOUZA, M.I.; SALGUEIRO, F.; CARNAVALE-BOTTINO, M.; FÉLIX, D. B.; ALVES-FERREIRA, M.; BITTENCOURT, J. V. M.; MARGIS, R. Patterns of genetic diversity in southern and southeastern *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze relict populations. **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, n. 3, p. 546–556, 2009.
- FRANÇA, A. C.; FREITAS, A. F. de.; SANTOS, E. A. dos.; GRAZZIOTTI, P. H.; ANDRADE JÚNIOR, V. C. de. (2016) Mycorrhizal fungi increase coffee plants competitiveness against *Bidens pilosa* interference. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, p. 132–139, 2016.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular arbuscular mycorrhizal infection roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

GOMES JÚNIOR, G. A.; PEREIRA, R. A.; SODRÉ, G. A.; SACRAMENTO, C. K.; GROSS, E. Absorption of nutrients by soursop seedlings in response to mycorrhizal inoculation and addition of organic compost. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 3, p. 287-294, 2018.

HILLIG, E.; MACHADO, G. O.; HOLK, D. L.; CORRADI, G. M. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função da posição no fuste para diferentes idades. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 257-263, 2012.

INZA, M. V.; AGUIRRE, N. C.; TORALES, S. L.; PAHR, N. M.; FASSOLA, H. E.; FORNES, L. F.; ZELENER, N. Genetic variability of *Araucaria angustifolia* in the Argentinean Parana Forest and implications for management and conservation. **Trees**, v. 32, p. 1135-1146, 2018.

MACHINESKI, G. S.; VICTOLA, C. A. G.; HONDA, C.; MACHINESKI, O.; GUIMARAES, M. F.; BALOTA, E. L. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on early development of persimmon seedlings. **Folia Horticulturae**, v. 30, n. 1, p. 39-46, 2018.

MARTINS A. P. L.; REISSMANN C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico analíticos. **Scientia Agraria**, v. 8, p. 1-17, 2007.

MONNERAT, C. S.; FREITAS, M. S. M.; VIEIRA, I. J. C.; MARTINS, M. A.; CARVALHO, A. J. C.; SANTOS, P. C. DOS; LIMA, T. C. Ajmalicine Bioproduction in *Catharanthus Roseus* (L) G. Don Inoculated with Arbuscular Mycorrhiza and Fertilized with Nitrogen. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-12, 2018.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; GOMES-DA-COSTA, S. M. CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 13, p. 211-215, 2003.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular Mycorrhizal fungal communities in native and in replanted Araucaria Forest. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n. 5, p. 677-684, 2009.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Doses de fósforo determinam a prevalência de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia*. **Ciência florestal**, v. 22, n. 4, p. 813-820, 2012.

MOREIRA, M.; ZUCCHI, M. I.; GOMES, J. E.; ALVES-PEREIRA, A.; CARDOSO, E. J. *Araucaria angustifolia* aboveground roots presented high arbuscular mycorrhizal fungal colonization and diversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Pedosphere**, v. 26, p. 561-566, 2016.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop

productivity under stressful environments. **Biotechnology Advances**, v. 32, p. 429-448, 2014.

NDOYE, F.; KANE, A.; BAKHOUM, N.; SANON, A.; FALL, D.; DIOUF, D.; SY, M. O.; NOBA, K. Response of *Acacia senegal* (L.) Willd. seedlings and soil bio-functioning to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia and *Pseudomonas fluorescens*. **African Journal of Microbiology Research**, v. 6, n. 44, p. 7176–7184, 2012.

R CORE TEAM (2018). R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

ROSA, D. J.; AMBROSINI, V. G.; BRUNETTO, G.; SOARES, C. R. F. S.; BORGHEZAN, M.; PESCADOR, R. Parâmetros fisiológicos em videiras ‘Paulsen 1103’ (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com cobre. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 31, n. 1, p. 14-23, 2016.

SABOYA, R. C. C.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; MONTEIRO, F. P. R.; SANTOS, G. R.; ERASMO, E. A. L. & CHAGAS, L. F. B. Fungos micorrízicos arbusculares afetando a produção de mudas de pinhão-mansão na região Sul do Estado de Tocantins, Brasil., **Revista Ceres**, v. 59, p. 142-146, 2012.

SCHNEIDER, P. R.; ELESBÃO, L. E. G.; SCHNEIDER, P. S. P.; LONGHI, R. V. Crescimento em diâmetro do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em áreas arenizadas e degradadas no Oeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.44, n.9, set, 2014.

SILVA, E. P. da; FERREIRA, P. A. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e fósforo no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1269-1281, 2017.

SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (Bert) O.KTZE cultivado em vaso. **Instituto de Pesquisas Florestais**, v. 7, p. 3-39, 1973.

TYAGI, J.; VARMA, A.; PUDAKE, R. N.. Evaluation of comparative effects of arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus intraradices*) and endophyte (*Piriformospora indica*) association with finger millet (*Eleusine coracana*) under drought stress. **European Journal of Soil Biology**, v. 81, p. 1-10, 2017.

VILCATOMA-MEDINA, C.; KASCHUK, G.; ZANETTE, F. Colonization and spore richness of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria* nursery seedlings in Curitiba, Brazil. **International Journal of Agronomy**, v. 2018, n. 1-6, 2018.

WANG, P.; WU, S. H.; WEN M. X.; WAN, Y.; WU, Q. S. Effects of combined inoculation with *Rhizophagus intraradices* and *Paenibacillus mucilaginosus* on plant growth, root morphology, and physiological status of trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) seedlings under different levels of phosphorus. **Scientia Horticulturae** 205: 97–105, 2016.

WU, Q.S.; ZOU, Y.N.; LIU, C.Y.; LU, T. Interacted effect of arbuscular mycorrhizal fungi and polyamines on root system architecture of *Citrus* seedlings. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, p. 1675-1681, 2012.

WU, Q. S.; ZOU, Y. N.; HUANG, Y. M. The arbuscular mycorrhizal fungus *Diversispora spurca* ameliorates effects of waterlogging on growth, root system, architecture and antioxidant enzyme activities of *Citrus* seedlings. **Fungal Ecology**, v. 6, p. 37-43, 2013.

YOSHIMURA, Y.; IDO, A.; IWASE, K.; MATSUMOTO, T.; YAMATO, M. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in the roots of *Pyrus pyrifolia* var. *culta* (Japanese Pear) in orchards with variable amounts of soil-available phosphorus. **Microbes Environments** v. 28, p. 105–111, 2013.

ZANDEVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; DE SOUZA, P. V. D. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied soil Ecology**, v. 25, p.245–255, 2004.

ZANDEVALLI, R. B.; STURMER, S. L.; DILLENBURG, L. R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forest with *Araucaria* in Southern Brazil. **Hoehnea**, v. 35, n.1, p. 63-68, 2008.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. (2017) **Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia***. In: Wendling I, Zanette F (eds) *Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios*. Embrapa, Brasília, pp 15–39.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o crescente interesse no plantio da *Araucaria angustifolia* para produção de pinhões, novas pesquisas devem ser desenvolvidas para dar suporte à produção de mudas de qualidade. Com relação a isso, a inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é considerado um avanço nas pesquisas com a espécie, contribuindo no crescimento e na qualidade de porta-enxertos utilizados no processo de enxertia, técnica que vem sendo empregada na implantação de pomares para produção precoce de pinhões.

Nas mudas estudadas, foi observada uma importante eficiência micorrízica na colonização radicial destacando, sobretudo em solos pobres e quando adubado com doses moderadas de fósforo. Sendo esses fatores indicativos de que as espécies de FMA se comportam eficientemente em condições adversas com baixa presença de nutrientes. Portanto a inoculação dos microorganismos benéficos pode ser um diferencial no crescimento das mudas de araucária, diminuindo a necessidade de aplicações de fertilizantes e, mesmo assim, mantendo uma boa diversidade de espécies de FMA, sem comprometer a qualidade das plantas.

Das espécies inoculadas, destaca-se as espécies *Rhizophagus intraradices* e *Acaulospora colombiana* com elevadas colonizações radiciais e extração dos principais macro e micronutrientes tanto na parte aérea como na raiz. A adição do solo com a inoculação das espécies de FMA da floresta de 50 anos possibilita maior diversidade fúngica benéfica, além de contribuir com importante fonte de nutrientes, facilitando o crescimento das mudas. Portanto, são necessários estudos futuros sobre a identificação, multiplicação e inoculação dessas espécies de FMA com o objetivo de produzir mudas de araucária de qualidade.

REFERÊNCIAS

- AKIYAMA, K.; MATSUZAKI, K.; HAYASHI, H. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. **Nature**, v. 435, p. 824–827, 2005.
- AKIYAMA, K.; HAYASHI, H. Strigolactones: Chemical Signals for Fungal Symbionts and Parasitic Weeds in Plant Roots. **Annals of Botany**, v. 97, p. 925-31, 2006.
- ALBUQUERQUE, P. P. **Aspectos ecológicos de populações de fungos micorrízicos arbusculares em reflorestamento e em mata nativa da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2010. Dissertação de mestrado. Universidade do estado de Santa Catarina, Lages, SC. 2010.
- ALIZADEH, O. Mycorrhizal Symbiosis. **Advanced Studies in Biology**, v. 6, n. 3, p. 273-281, 2011.
- ALLEN, M. F.; MOORE, T. S.; CHRISTENSEN, M.; STANTON, N. Growth of vesicular arbuscular mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis* in a defined medium, **Mycologia**, v. 71, p. 666-669, 1979.
- ANDRADE, A.C.S.; QUEIROZ, M.H.; HERMES, R.A.L.; OLIVEIRA, V.L. Mycorrhizal status of some plants of the Araucaria forest and the Atlantic rainforest in Santa Catarina, Brazil. **Mycorrhiza**, v.10, p.131-136, 2000.
- ANJOS, L. O CICLO ANUAL DE CYANOCORAX CAERULEUS EM FLORESTA DE ARAUCÁRIA (PASSERIFORMES: CORVIDAE). **Ararajuba**, v. 2, p. 19-23, 1991.
- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. Micorrizas. **Ciência Rural**, v. 21, p. 441-455, 1991.
- AQUINO, F. M. **Cultivo da *Araucaria angustifolia*: análise de viabilidade econômico-financeira.** Florianópolis: BRDE, 2005. 53 p.
- ASCÓN-AGUIAR, C e BAREA, J. M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 68, n. 4, p. 1-24, 1997.
- AVIO, L.; CRISTANI, C.; STRANI, P.; GIOVANNETTI, M. Genetic and phenotypic diversity of geographically different isolates of *Glomus mosseae*. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 55, p. 242-253, 2009.
- AZCÓN-AGUILAR, C e BAREA, J. M. Applying mycorrhizal biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 68, n. 4, p. 1-24, 1997.
- AZEVEDO, P. T. M. **Minhocas, fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em mudas de *Araucaria angustifolia*.** 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.
- BACKES, A. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Brasil – II. **Pesquisas-Botânica**, v. 49, p. 31-51, 1999.

BANDEL, G.. **O pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia***. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 1966.

BANDEL, G.; GURGEL, J. T. A. Proporção do sexo em pinheiro-brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. Silvicultura - **Revista Técnica do Serviço Florestal do Estado de São Paulo**. p. 209-220, 1967.

BARBOSA, J. Z.; CONSTANTINO, V.; ZANETTE, F.; MOTTA, A. C. V.; PRIOR, S. A. Soil fertility affects elemental distribution in needles of the conifer *Araucaria angustifolia*: a microanalytical study. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 257-266, 2017.

BAUM, C.; EL-TOHAMY, W.; GRUDA, N. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 187, p. 131–141, 2015.

BEDINI, S.; TURRINI, A.; RIGO, C.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Molecular characterization and glomalin production of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a heavy metal polluted ash disposal island, downtown Venice. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 758-765, 2010.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. H. M. A. C. **Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição**. v. VIII, p. 53-88. In: FERNANDES, M. S. (ed) Nutrição Mineral de Plantas. SBCS. 1 ed. Viçosa, 432 p. 2006.

BERDENI, D.; COTTON, T. E. A.; DANIELL, T. J.; MARTIN I. BIDARTONDO, M. I.; CAMERON, D. D.; EVANS, K. L. The Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonisation on Nutrient Status, Growth, Productivity, and Canker Resistance of Apple (*Malus pumila*). **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 1461, 2018.

BERTOLAZI, A. A.; VENANCIO, J. B.; FIGUEIRA, F.F.; SOUZA, S.B.; BARCELOS, J. G. Toxicidade do alumínio e o potencial dos fungos ectomicorrízicos na biorremediação dos solos ácidos. **Natureza on line**, v. 11, p. 170-177, 2013.

BESSERER, A.; PUECH-PAGÈS, V.; KIEFER, P.; GOMEZ-ROLDAN, V.; JAUNEAU, A.; ROY, S.; PORTAIS, J. C.; ROUX, C.; BECARD, G.; SEJALON-DELMAS, N. Strigolactones stimulate arbuscular mycorrhizal fungi by activating mitochondria. **PLOS Biol**, v. 4, e226, 2006.

BONFIM, J. A.; VASCONCELLOS, R. L. F.; GUMIERE, T.; MESCOLOTTI, D. L. C.; OCHL, F.; CARDOSO, E. J. B. N. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Brazilian Atlantic Forest Toposequence. **Microbial Ecology**, v. 71, p. 164-177, 2016.

BONONI, V.L.R., GRANDI, R.A.P., LOPES, S.A.R.L., RODRIGUES, E. & FONSECA, M.P. 1990. Micorrizas vesículo-arbusculares em *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) O. Kuntze. **Revista do Instituto Florestal**, v. 2, p. 87-93, 1990.

BRANCO, C. S., RODRIGUES, T. S., LIMA, É. D., CALLONI, C., SCOLA, G., & SALVADOR, M. Chemical constituents and biological activities of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: A review. **Journal of Organic and Inorganic Chemistry**, v. 2, p. 1-10, 2016.

BRASIL. Lei Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm> Acesso em: 15 dez. 2018.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instrução Normativa nº 6, de 23 de setembro de 2008. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 145, n. 185, 24 set. 2008. Seção 1, p. 75-83.

BREUILLIN, F.; SCHRAMM, J.; HAJIREZAEI, M.; AHKAMI, A.; FAVRE, P.; DRUEGE, U.; HAUSE, B.; BUCHER, M.; KRETZSCHMAR, T.; BOSSOLINI, E.; KUHLEMEIER, C.; MARTINOIA, E.; FRANKEN, P.; SCHOLZ, U.; REINHARDT, D. Phosphate systemically inhibits development of arbuscular mycorrhiza in *Petunia hybrida* and represses genes involved in mycorrhizal functioning. **The Plant Journal**, v. 64, p. 1002-1017, 2010.

BREUNINGER, M.; EINIG, W.; MAGEL, E.; CARDOSO, E.; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brazil Pine (*Araucaria angustifolia* [Bert. O. Ktze.]). **Plant Biology**, v.2, p. 4-10, 2000.

BUCKING, H.; SHACHAR-HILL, Y. Phosphate uptake, transport and transfer by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is stimulated by increased carbohydrate availability. **New Phytologist**, v. 165, p. 899–912, 2005.

BÜCKING H, ABUBAKER J, GOVINDARAJULU M, TALA M, PFEFFER PE, NAGAHASHI G, LAMMERS P, SHACHAR-HILL Y. Root Exudates Stimulate the Uptake and Metabolism of Organic Carbon in Germinating Spores of *Glomus intraradices*. **New Phytologist**, v. 180, p. 684-695, 2008.

BÜCKING, H.; LIEPOLD, E.; AMBILWADE, P. The role of the mycorrhizal symbiosis in nutrient uptake of plants and the regulatory mechanisms underlying these transport processes. **Plant Science**, v. 4, p. 108–132, 2012.

BUDI, S. W.; BAKHTIAR, Y.; MAY, N. L. Bacteria associated with arbuscula mycorrhizal spores *Gigaspora margarita* and their potential for stimulating root mycorrhizal colonization and neem (*Melia azedarach* Linn) seedling growth. **Microbiology Indonesia**, v. 6, p. 180–188, 2013.

CAMARA, R.; FONSECA JUNIOR, A. M.; SOUSA, A. C. O.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA JUNIOR, J. Q. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* Perkins. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 449-458, 2017.

CAMPOS, P.; BORIE, F.; CORNEJO, P.; LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; LÓPEZ-GARCÍA, Á.; SEGUEL, A. Phosphorus acquisition efficiency related to root traits: is mycorrhizal symbiosis a key factor to wheat and barley cropping?. **Frontiers in Plant Science**, V. 9, P. 1-21, 2018.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARRETA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. **Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas**. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. *Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 153-214.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com Araucária – composição florística e biota do solo**. Piracicaba. FEALQ, 2015. p. 181-202.

CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, M. A.; ZANGARO, W. 2017. **Importance of mycorrhizae in tropical soils**. In: de Azevedo J., Quecine M. (eds) *Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics*. Springer, Cham. p. 245-267.

CARVALHO, P. E. R.. **Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Embrapa- CNPF, Colombo, 1994. 640 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília: EMBRAPA – SPI, 2003. 1039 p.

CELY, M. V. T.; DE OLIVEIRA, A. G.; DE FREITAS, D. F; ET AL (2016) Inoculant of arbuscular mycorrhizal fungi (*Rhizophagus clarus*) increase yield of soybean and cotton under field conditions. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1-9, 2016.

CLARK, R. B.; ZETO, S. K. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p. 867–902, 2000.

COLODETE, C. M.; DOBBSS, L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, Santa Teresa, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

COLLINS, C. D.; FOSTER, B. L. Community-level consequences of mycorrhizae depend on phosphorus availability. **Ecology**, v. 90, p. 2567-2576, 2009.

CONSTANTINO, V.; BARBOSA, J. Z.; MOTTA, A. V.; DOLINSKI, M. A.; PRIOR, S. A. P.; ZANETTE, F. Initial growth of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in response to fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium. **Floresta**, v. 49, n. 1, p. 99-108, 2019.

COSTA, H. A. O.; STÜRMER, S. L.; RAGONEZI, C.; GRAZZIOTTI, P. H.; GRAZZIOTTI, D. C. F. S.; SILVA, E. de B. Species richness and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in *Syngonanthus elegans*, an endemic and threatened species from the Cerrado domain in Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 326-336, 2016.

CROLL, D.; WILLE, L.; GAMPER, H. A.; MATHIMARAM, N.; LAMMERS, P. J.; CORRADI, N.; SANDERS, I. R. Genetic diversity and host plant preferences revealed by simple sequence repeat and mitochondrial markers in a population of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **New Phytologist**, v. 178, n. 3, p. 672-687, 2008.

CRUZ, C.; CORREIA, P.; RAMOS, A.C.; CARVALHO, L.; BAGO, A.; KLIRONOMOS, J.; MARTINS-LOUÇÃO, M.A. Arbuscular mycorrhiza in plant physiological morphological adaptations. In: Ajit, V, Ed. Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Fuction, Biotechnology, Eco-physiology, Strutucture and Systematics. Heidelberg, **Springer-Verlag**, 733-754, 2008.

DALANHOL, S. J.; NOGUEIRA, A. C.; GAIAD, S.; KRATZ, D. Effect of mycorrhizae and fertilization on growth seedlings of *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg., produced in different substrates. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27. n. 3, p. 931-945, 2017.

DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. **O cultivo da araucária para produção de pinhões como ferramenta para a conservação. Pesquisa florestal brasileira**, v. 32, n. 72, p. 441-451, 2012.

DELUCIS, R. de A.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; TREVISAN, R. Qualificação da madeira de três espécies de coníferas oriundas de reflorestamentos jovens. **Scientia Forestalis**, v. 41, p. 477-484, 2013.

De SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. 2010. **Classificação e taxonomia de fungos micorrizicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil**. p. 15-75 In: SIQUEIRA, J. O.; De SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; eds. Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. UFLA, 2010. Lavras, MG.

DIEHL, P.; MAZZARINO, M. J.; FONTELLA, S. B. Plant limiting nutrients in Andean-Patagonian woody species: Effects of interannual rainfall variation, soil fertility and mycorrhizal infection. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2973-2980, 2008.

DIEHL, P.; FONTELLA, S. B. Arbuscular mycorrhizal infection in two morphological root types of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. **Revista Argentina de Microbiologia**, v 42, p. 133-137, 2010.

DOMINGUEZ-NUNEZ JA, BENITO B, BERROCAL-LOBO M, ALBANESI A (2016) Mycorrhizal fungi: role in the solubilization of potassium. In: Meena VS, Maurya BR, Verma JP, Meena RS (eds) Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. **Springer**, India, p 77–98.

DUARTE, L. da S.; DOS SANTOS, M. M. G.; HARTZ, S. M.; PILLAR, V. D. The role of nurse plants in Araucaria forest expansion over grassland in South Brazil. **Austral Ecology**. 31, 520–528, 2006.

FERREIRA, A. G. *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze: **germinação da semente e desenvolvimento da plântula**. 1977. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo.

FERREIRA DE SOUZA, M. I.; SALGUEIRO, F.; CARNAVALE-BOTTINO, M.; FÉLIX, D. B.; ALVES-FERREIRA, M.; BITTENCOURT, J. V. M.; MARGIS, R. Patterns of genetic diversity in southern and southeastern *Araucaria*

angustifolia (Bert.) O. Kuntze relict populations. **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, n. 3, p. 546–556, 2009.

FERREIRA, P. A. A.; CERETTA, C. A.; SORIANI, H. H.; TIECHER, T. L.; SOARES, C. R. F. S.; ROSSATO, L.V.; et al. Rhizophagus clarus and phosphate alter the physiological responses of *Crotalaria juncea* cultivated in soil with a high Cu level. **Applied Soil Ecology**, v. 91, p. 37–47, 2015.

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M. C.; BEGOUDE BOYOGUENO, A. D.; NANA, W. L.; NGONKEU, TCHAMENI, N. S.; NWAGA, D.; TSALA NDZOMO, G.; AMVAM ZOLLO, P. H.. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid Forest zone of south Cameroon. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, p. 69-75, 2012.

FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza Arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

FRANÇA, A. C.; FREITAS, A. F. de.; SANTOS, E. A. dos.; GRAZZIOTTI, P. H.; ANDRADE JÚNIOR, V. C. de. (2016) Mycorrhizal fungi increase coffee plants competitiveness against *Bidens pilosa* interference. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, p. 132–139, 2016.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. 307 p.

FRANCO, A. M. S.; DILLENBURG, L. R. Ajustes morfológicos e fisiológicos em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 135-144, 2007.

FRANK, A. B.; TRAPPE, J. M. On the nutritional dependence of certain trees on root symbiosis with belowground fungi (an English translation of A.B. Frank's classic paper of 1885). **Mycorrhiza**, v. 15, p. 267–275, 2005.

FUENTES-RAMIREZ, A.; BARRIENTOS, M.; ALMONACID, L.; ARRIAGADA-ESCAMILLA, C.; SALAS-SLJABIT, C. Short-term response of soil microorganisms, nutrients and plant recovery in fire-affected *Araucaria araucana* forests. **Applied Soil Ecology**, v. 131, p. 99-106, 2018.

GARCIA, C.; COELHO, C. M. M.; MARASCHIN, M.; OLIVEIRA, L. M. Conservação da viabilidade e vigor de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze durante o armazenamento. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 857-867, 2014.

GARCIA, K.; DELTEIL, A.; CONÉJÉRO, G.; BECQUER, A.; PLASSARD, C.; SENTENAC, H.; ZIMMERMANN, S. Potassium nutrition of ectomycorrhizal *Pinus pinaster*: overexpression of the *Hebeloma cylindrosporum* HcTrk1 transporter affects the translocation of both K⁺ and phosphorus in the host plant. **New Phytologist**, v. 201, p. 951–960, 2014.

GARCIA, K.; ZIMMERMANN, S. D. The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. **Frontiers in plant Science**, v. 5, p. 1-9, 2014.

GENRE, A.; CHABAUD, M.; BALZERGUE, C.; PUECH-PAGES, V.; NOVERO, M.; REY, T.; FOURNIER, J.; ROCHANGE, S.; BECARD, G.; BONFANTE, P.; BARKER, D. G. 2013. Short-chain chitin oligomers from arbuscular mycorrhizal fungi trigger nuclear Ca^{2+} spiking in *Medicago truncatula* roots and their production is enhanced by strigolactone. **New Phytologist**, v. 198, p. 190–202, 2013.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GIANINAZZI, S.; GOLLOTTE, A.; BINET, M. N.; TUINEN, D.; REDECKER, D.; WIPF, D. Agroecology: the key role mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, p. 519-530, 2010.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular arbuscular mycorrhizal infection roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

GÓMEZ-ROLDÁN, V.; FERMAS, S.; BREWER, P. B.; PUECH-PAGÉS, V.; DUN, E. A.; PILLOT, J. P. Strigolactone inhibition of shoot branching. **Nature**, v. 455, p. 189-194, 2008.

GOMES JÚNIOR, G. A.; PEREIRA, R. A.; SODRÉ, G. A.; SACRAMENTO, C. K.; GROSS, E. Absorption of nutrients by soursop seedlings in response to mycorrhizal inoculation and addition of organic compost. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 3, p. 287-294, 2018.

GOTO, B. T. **Taxonomia de Glomeromycota: Revisao morfologica, chaves dicotomicas e descricao de novos taxons**. 375 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

GOVINDARAJULU, M.; PFEFFER, P. E.; JIN, H.; ABUBAKER, J.; DOUDS, D. D.; ALLEN, J. W.; BÜCKING, H.; LAMMERS, P. J.; SHACHAR-HILL, Y. Nitrogen Transfer in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. **Nature Magazine**, v. 435. p. 819-823, 2005.

HABTE, M.; OSORIO, N. W. 2001. **Arbuscular mycorrhizas: Producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum**. - Department of Tropical Plant and Soil Sciences, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, HI.

HACKBARTH, C.; SOFFIATTI, P.; ZANETTE, F.; FLOH, E. I. S.; MACEDO, A. F.; LAUREANO, H. A. Free amino acid content in trunk, branches and branchlets of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Journal of Forestry Research**, v. 29, p. 1489-1496, 2017.

HART, M. M.; READER, R. J. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi, **New Phytologist**, v. 153, n. 2, p. 335–344, 2002.

HELGASON, T.; DANIELL, T. J.; HUSBAND, R.; FITTER, A. H.; YOUNG, J. P. W. Ploughing up the wood-wide web?. **Nature**, v. 394, n. 431, p. 431, 1998.

HELGASON, T.; FITTER, A. H. Natural selection and the evolutionary ecology of the arbuscular mycorrhizal fungi (*Phylum Glomeromycota*). **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 2465–2480, 2009.

HILLIG, E.; MACHADO, G. O.; HOLK, D. L.; CORRADI, G. M. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função da posição no fuste para diferentes idades. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 257-263, 2012.

HILTON-TAYLOR, C. 2000. **IUCN** red list of threatened species. IUCN, Gland.

IANSON, D. C.; ALLEN, M. F. The Effects of Soil Texture on Extraction of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungal Spores from Arid Sites. **Mycologia**, v. 78, p.164-168, 1986.

IBAMA. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite**. 2014. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/mataatlantica/index.htm>>. Acesso em: 04 set. 2016.

IBGE. 2012. Instituto Brasileiro de Geografia E estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2ª edição revisada e ampliada.

INVAM. **International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi**. Disponível em: <<http://invam.wvu.edu/the-fungi/classification>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

INZA, M. V.; AGUIRRE, N. C.; TORALES, S. L.; PAHR, N. M.; FASSOLA, H. E.; FORNES, L. F.; ZELENER, N. Genetic variability of *Araucaria angustifolia* in the Argentinean Parana Forest and implications for management and conservation. **Trees**, v. 32, p. 1135-1146, 2018.

IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). **The IUCN Red List of Threatened Species: *Araucaria angustifolia*** (published in 2013). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>>. Acesso EM: 20 nov. 2018.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692, 1964.

JEYANNY, V.; LEE, S. S.; WAN RASIDAH, K. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and fertilisation on the growth of *Acacia mangium* seedlings. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 4, p. 404–409, 2011.

JEYANNY, V.; WAN RASIDAH K.; LEE S. S.; GHAZALI M. H.; FAUZI M. S. Preliminary assessment of exponential nutrient loading and arbuscular mycorrhizal inoculation on the physical growth of *Acacia mangium* and *Khaya senegalensis* seedlings in tropical forest nursery. **Journal of Tropical Plant Physiology**, v. 5, p. 10-21, 2013.

JOHNSON, N. C.; WEDIN, D. A. Soil carbon, nutrients and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. **Ecological Applications**, v. 7, p. 171-182, 1997.

JOHNSON, N.C.; ROWLAND, D.L.; CORKIDI, L.; EGERTON-WARBURTON, L. M.; ALLEN, E. B. Nitrogen Enrichment Alters Mycorrhizal Allocation At Five Mesic To Semiarid Grasslands. **Ecology**, v. 84, p. 1895–1908, 2003.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

KAHNEH, E.; RAMEZANPOUR, H.; RAMEZANPOUR, M. R.; HAGHPARAST, M. R.; SHIRINFEKR, A. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Phosphorus Supplement on Leaf P, Zn, Cu and Fe Concentrations of Tea Seedlings. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v.4, n.1, p. 53-58, 2006.

KAPULNIK, Y.; DELAUX, P. M.; RESNICK, N.; MAYZLISH-GATI, E.; WININGER, S.; BHATTACHARYA, C. Strigolactones affect lateral root formation and root-hair elongation in *Arabidopsis*. **Planta**, v. 233, p. 209-216, 2011.

KARIMAN, K.; BARKER, S. J.; FINNEGAN, P. M.; TIBBETT, M. Ecto- and arbuscular mycorrhizal symbiosis can induce tolerance to toxic pulses of phosphorus in jarrah (*Eucalyptus marginata*) seedlings. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 501–509, 2014.

KINDEL, E. A. I. **Padrões de dispersão e disposição espacial de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze e suas relações com aves e mamíferos na Estação Ecológica de Aracuri, Esmeralda, RS.** 1996. 66 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C.; PERES, V. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1-16, 2009.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, p. 17-44, 1960.

KLUGH-STEWART, K.; CUMMING, J. Organic acid oxidation by mycorrhizal *Andropogon virginicus* L. (broomsedge) roots in response to aluminium. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 367-373, 2009.

KOCH, Z.; CORRÊA, M.C. **Araucária: A floresta do Brasil Meridional.** 2. Ed. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2010. 168 p.

KOHLER, W.; T. CHARNIKHOVA, T.; LAMMERS, M.; POLLINA, T.; TÓTH, P.; HAIDER, I.; POZO, M. J.; MAAGD, R. A. de; RUYTER-SPIRA, C.; BOUWMEESTER, H. J.; LÓPEZ-RÁEZ, J. A. The tomato CAROTENOID CLEAVAGE DIOXYGENASE8 (SICCD8) regulates rhizosphere signaling, plant architecture and affects reproductive development through strigolactone biosynthesis. **New Phytologist**, v. 196, p. 535-547, 2012.

KOSKE, R. E.; TESSIER, B., A. convenient, permanent slide mounting medium. **Mycological Society of America Newsletter**, v. 34, p.59, 1983.

LASSERE, S. R., VAIRETTI, M., LASSERE, E. N. E. Crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em distintos tipos de suelos de Puerto Piray, Misiones. **IDIA**, n. 7, p. 36-45, 1972.

LEE, E. H.; EO, J. K.; KA, K. H. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. **Mycobiology**, v. 41, p. 121-125, 2013.

LEKBERG, Y. R. T.; KOIDE, R.; ROHR, J. R.; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J. B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Jornal of Ecology**, v. 95, p. 95-105, 2007.

LIMA, F. D. S.; SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. D. S. Occurrence and activity arbuscular mycorrhizal fungi in eucalypt (*Eucalyptus* sp.) plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 2, p. 245-255, 2013.

LIN, X.; FENG, Y.; ZHANG, H.; CHEN, R.; WANG, J.; ZHANG, J.; et al. Long-Term Balanced Fertilization Decreases Arbuscular Mycorrhizal Fungal Diversity in an Arable Soil in North China Revealed by 454 Pyrosequencing. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 5764-5771, 2012.

LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; POZO, M. J.; GARCÍA-GARRIDO, J. M. Strigolactones: a cry for help in the rhizosphere. **Botany**, v. 89, p. 513-522, 2011.

LÓPEZ-RÁEZ, A.; SHIRASU, K.; FOO, E. Strigolactones in plant interactions with beneficial and detrimental organisms: the yin and the yang, **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 6, p. 527-537, 2017.

MACHINESKI, G. S.; VICTOLA, C. A. G.; HONDA, C.; MACHINESKI, O.; GUIMARAES, M. F.; BALOTA, E. L. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on early development of persimmon seedlings. **Folia Horticulturae**, v. 30, n. 1, p. 39-46, 2018.

MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.

MARQUES, R.; MOTTA, A. C. V. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. In: LIMA, M. R. de., ed. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2.^{ed}. Curitiba, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003.

MARTINS A. P. L.; REISSMANN C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico analíticos. **Scientia Agraria**, v. 8, p. 1-17, 2007.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2a. ed. Lages: Artes Gráficas Princesa, 1994. 225 p.

MEHARG, A. A. The mechanistic basis of interactions between mycorrhizal associations and toxic metal cations. **Mycological Research**, v. 107, p. 1253–1265, 2003.

MELLO, A. H.; KAMINSKI, J.; ANTONIOLLI, Z. I.; SANTOS, L. C.; SOUZA, E. L.; SCHIRMER, G. K.; GOULART, R. M. Influência de substratos e fósforo na produção de mudas micorrizadas de *Acacia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 3, p. 321-327, 2008.

MENGE J. A. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. **Canadian Journal of Botany**, v. 61, p.1015-1024, 1983.

MENSAH, J. A. **Cooperation and Punishment in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Implications for Resource Exchange & Biological Market Dynamics** (2016). Theses and Dissertations. Paper 1012.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; SILVA, M. V.; LYRA, M. C. C. P.; FIGUEREIDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B.; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Arapina, PE, Brasil. **Hoehnea**, v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MILANEZ, F.R.; MONTEIRO NETO, H. Nota prévia sobre micorriza no pinho do Paraná. **Arquivos do Serviço Florestal**, v. 4, p. 87-93, 1950.

MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 579-584, 1990.

MIRANDA, J. C. C.; HARRIS, P. J. 1994. Effects of soil phosphorus on spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 128, p. 103-108, 1994.

MIRANSARI, M. Arbuscular mycorrhizal fungi and uptake of nutrients. In: Aroca R (ed) *Symbiotic endophytes*. **Springer**, v. 37, p. 253–270, 2013.

MONNERAT, C. S.; FREITAS, M. S. M.; VIEIRA, I. J. C.; MARTINS, M. A.; CARVALHO, A. J. C.; SANTOS, P. C. DOS; LIMA, T. C. Ajmalicine Bioproduction in *Catharanthus Roseus* (L) G. Don Inoculated with Arbuscular Mycorrhiza and Fertilized with Nitrogen. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-12, 2018.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; GOMES-DA-COSTA, S. M. CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 13, p. 211-215, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: Universidade Federal Lavras; 2006.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; ; CARDOSO, E. J. B. N. Spore density and root colonization by mycorrhizal fungi in preserve dor disturbed *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Ecosystems. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 380-385, 2006.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; GOMES-da-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 393-399, 2007a.

MOREIRA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TSAI, S. M.; GOMES-da-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil Pine in the Field and in the greenhouse. **Mycorrhiza**, v. 17, p. 519-526, 2007b.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. 2009. Arbuscular Mycorrhizal fungal communities in native and in replanted Araucaria Forest. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 677-684, 2009.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Doses de fósforo determinam a prevalência de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia*. **Ciência florestal**, v. 22, n. 4, p. 813-820, 2012.

MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 13, p. 211-215, 2013.

MOREIRA, M.; BONFIM, J. A.; VALADARES, R. B. S.; CARDOSO, E. J. B. N. **Micorrizas na floresta com Araucária**. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. Floresta com Araucária: Composição florística e biota do solo. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 181-196.

MOREIRA, M.; ZUCCHI, M. I.; GOMES, J. E.; ALVES-PEREIRA, A.; CARDOSO, E. J. *Araucaria angustifolia* aboveground roots presented high arbuscular mycorrhizal fungal colonization and diversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Pedosphere**, v. 26, p. 561–566, 2016.

MORTON, J. B.; BENTIVENGA, S. P.; WHEELER, W. W. Germ plasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. **Mycotaxon**, v. 48, p. 491-528, 1993.

MORTON, J. B.; REDECKER, D. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera Archaeospora and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. **Mycorrhiza**, v. 93, p. 181-195, 2001.

MOSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Early growth of Brazilian Pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] O. Kuntze) in response to soil compaction and drought. **Plant Soil**, v. 258, p. 293–306, 2004.

MULLER, J. A. **A influência de roedores e aves na regeneração da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. 1986. 65 f. Dissertação de mestrado em engenharia-florestal Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology Advances**, v. 32, p. 429–448, 2014.

NDOYE, F.; KANE, A.; BAKHOUM, N.; SANON, A.; FALL, D.; DIOUF, D.; SY, M. O.; NOBA, K. Response of *Acacia senegal* (L.) Willd. seedlings and soil bio-functioning to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia and *Pseudomonas fluorescens*. **African Journal of Microbiology Research**, v. 6, n. 44, p. 7176–7184, 2012.

NOURI, E.; BREUILLIN-SESSOMS, F.; FELLER, U.; REINHARDT, D. Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in petunia hybrida. **Plos one**, v. 9, p. 1–14, 2014.

NOVAIS, C.B.; SOUZA, F. A.; SIQUEIRA, J. O. Caracterização fenotípica e molecular de esporos de fungos micorrízicos arbusculares mantidos em banco de germoplasma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p. 886–896, 2010.

ORELLANA, E.; VANCLAY, J. K. Could native *Araucaria* forests be managed for timber production on small farms in southern Brazil?. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 1–9, 2018.

PAISE, G.; VIEIRA, E. M. Produção de frutos e distribuição espacial de angiospermas com frutos zoocóricos em uma Floresta Ombrófila Mista no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, p. 615–625, 2005.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology**, v. 6, n 10, p. 763–775, 2008.

PAWLOWSKA, T. E.; TAYLOR, J. W. Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. **Nature**, v. 427, p. 733–737, 2004.

PRACIAK, A.; PASIECZNIK, N.; SHEIL, D.; VAN HEIST, M.; SASSEN, M.; CORREIA, C. S.; DIXON, C.; FYSON, G.; RUSHFORD, K.; TEELING, C. (eds). **The CABI encyclopedia of forest trees**. Oxfordshire: CABI, 2013, 531 p.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 57, p. 411–417, 2013.

PEREIRA, J. M. **Atributos biológicos como indicadores de qualidade do solo em Floresta de Araucária nativa e reflorestada no Estado de São Paulo**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

PIOTROWSKI, J. S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J. N.; GRAHAM, J. M.; RILLIG, M. C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species, **New Phytologist**, vol. 164, no. 2, pp. 365–373, 2004.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. 2006. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 413-424, 2006.

R CORE TEAM (2018). R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR, M.W.; VANDERLEVDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. **Field Crops Research**, v. 117, p. 169–176, 2010.

RAMOS, A. C.; FAÇANHA, A. R.; FEIJÓ, J. A. Proton (H⁺) flux signature of the presymbiotic development of the arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 178, p. 177-88, 2008.

RAMOS, A. C.; LIMA, P. T.; DIAS, P. N.; KASUYA, M. C. M.; FEIJÓ J. A. A pH signaling mechanism involved in the spatial distribution of calcium and anion fluxes in ectomycorrhizal roots. **New Phytologist**, v. 181, p. 448-462, 2009.

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L. E. Glomalean fungi from the Ordovician. **Science**, v. 289, p. 1920-1921, 2000.

RENKER, C.; HEINRICHS, J.; KALDORF, M.; BUSCOT, F. Combining nested PCR and restriction digest of the internal transcribed spacer region to characterize arbuscular mycorrhizal fungi in roots from the field. **Mycorrhiza**, v. 13, n 4, p. 191-198, 2003.

RICHARDSON, A.E.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVEY, P. R.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; SIMPSON, R. J. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. **Plant and Soil**, v. 349, p. 121–156, 2011.

RIFLE, J. M.; BOOSALIS, M. G. Mycorrhizal - Good for our trees. **Farm Ranch Home Q.** p. 1-8, 1979.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to landuse change. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, p. 293–299, 2003.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIQUEIREDO, F. A. M. M. de A. Arbuscular mycorrhizal fungi on growth and mineral nutrition of *Tectona grandis* L. F. seedlings. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2018.

ROSA, D. J.; AMBROSINI, V. G.; BRUNETTO, G.; SOARES, C. R. F. S.; BORGHEZAN, M.; PESCADOR, R. Parâmetros fisiológicos em videiras 'Paulsen 1103' (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com cobre. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 31, n. 1, p. 14-23, 2016.

ROSENDAHL, S.; STUKENBROCK, E. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in undisturbed vegetation revealed by analyses of LSU r DNA sequences. **Molecular Ecology**, v. 13, p. 3179-3186, 2004.

ROSADO, R.M.; FERREIRA, A.G.; MARIATH, J.E.A. & COCUCCHI, A.R., 1994. Amido no megagametofito de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze: degradação durante a germinação e o desenvolvimento do esporófito. **Acta Botanica Brasilica**, v. 8, p. 35-43, 1994.

RUYTER-SPIRA, C.; KOHLEN, W.; CHARNIKHOVA, T.; VAN ZEIJL, A.; VAN BEZOUWEN, L.; RUIJTER, N. de. Physiological effects of the synthetic strigolactone analog GR24 on root system architecture in *Arabidopsis*: another belowground role for strigolactones?. **Plant Physiology**, v. 155, p. 721-734, 2011.

SABOYA, R. C. C.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; MONTEIRO, F. P. R.; SANTOS, G. R.; ERASMO, E. A. L. & CHAGAS, L. F. B. Fungos micorrízicos arbusculares afetando a produção de mudas de pinhão-mansão na região Sul do Estado de Tocantins, Brasil. **Revista Ceres**, v. 59, p. 142-146, 2012.

SAIA, S.; BENITÉZ, E.; GARCIA-GARRIDO, J.M.; SETTANNI, L.; AMATO, G.; GIAMBALVO, D. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on total plant nitrogen uptake and nitrogen recovery from soil organic material. **The journal of agricultural Science**, v. 152, p. 370-378, 2014.

SANTOS A. L. W.; ELBL, P.; NAVARRO, B. V.; OLIVEIRA, L. F. DE; SALVATO, F.; BALBUENA, T. S.; FLOH, E. I. S. Quantitative proteomic analysis of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze cell lines with contrasting embryogenic potential. **Journal of Proteomics**, v. 130, p. 180-189, 2016.

SANTOS, R. S.; FERREIRA, J. S.; SCORIZA, R. N. Inoculum production of arbuscular mycorrhizal fungi native to soils under different forest covers. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 2, p. 197-204, 2017.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. (1990). "Manual for identification of VA mycorrhizal fungi," Synergistic Publications, Gainesville, Florida.

SCHNEIDER, P. R.; ELESBÃO, L. E. G.; SCHNEIDER, P. S. P.; LONGHI, R. V. Crescimento em diâmetro do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em áreas arenizadas e degradadas no Oeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.44, n.9, set, 2014.

SCHWARZOTT, D.; WALKER, C.; SCHUSSLER, A. Glomus the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 21, p. 190-197, 2001.

SEGUEL, A.; CUMMING, J. R.; CORNEJO, P. BORIE, F. The role of arbuscular mycorrhizas in decreasing aluminium phytotoxicity in acidic soils: A review. **Mycorrhiza**, v. 23, p. 167-183, 2013.

SHEPHERD, M.; NGUYEN, L.; JONES, M. E.; NICHOLS, J. D.; CARPENTER, F. L. A method for assessing sequence variation. *Planta and Soil*. **Dordrecht**, v. 290, p. 259-268, 2007.

SIEVERDING, E. **Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn, Germany: GTZ, 1991. 371 p.

SILVA, H.D.; BELLOTE, A. F.J.; FERREIRA, C. A.; BOGNOLA, I. A. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, PR., v. 43, p. 61-74, 2001.

SILVA, L. X.; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, G. AL da; GOTO, B. T.; OLIVEIRA, J. de P.; BURITY, H. A. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de plantio de leucena e sábia no estado de Pernambuco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 427-435, 2007.

SILVA, E. P. da; FERREIRA, P. A. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e fósforo no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1269-1281, 2017.

SIMÕES, J. W.; do COUTO, H. T. Z. KAJYIA, S. Tolerância do pinheiro DO Paraná (*Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE) a teores crescentes de alumínio. **IPEF**, n.6, p. 93-102, 1973.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do Solo**. MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, Brasília, 1988, p. 125-177.

SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. 2003. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. **Plant Physiology** v. 133, p.16-20, 2003.

SMITH, S. E.; READ, D. J. (2008). **Mycorrhizal symbiosis**, 3rd ed., London: Academic Press, 785 p.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p 227-250, 2011.

SMITH, S.E.; JAKOBSEN, I.; GRØNLUND, M.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of

phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. **Plant Physiologist**, v. 156, p. 1050–1057, 2011.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. **Mycologia**, v. 104, p. 1-13, 2012.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A. **Demografia, fenologia e ecologia da dispersão de sementes de *Araucaria angustifolia* em uma população relictual em Campos do Jordão, SP**. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2001.

SOUZA, M. M. S. R. **Ecofisiologia de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia***. 2001. 108 f. Tese de Doutorado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, 2001.

SOUZA, M. I. F.; SALGUEIRO, F.; CARVANALE-BOTTINO, M.; FÉLIX, D. B.; ALVES FERREIRA, M.; BITTENCOURT, J. V. M.; MARGIS, R. Patterns of genetic diversity in southern and southernwest *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze relict populations. **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, n. 3, p. 546-556, 2009.

STAHL, J. A.; LOBATO, L. P.; BOCHI, V. C.; KUBOTA, E. H.; GUTKOSKI, L. C.; EMANUELLI, T. Physicochemical properties of Pinhão (*Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze) starch phosphates. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 1206-1214, 2007.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K.; ECKHARDT, D. P. Micorrização das mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden comercializadas no município de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 25-35, 2010.

STÜRMER, S. L.; BELLEI, M. M. 1994. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the Island of Santa Catarina, Brazil. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 359-363, 1994.

STÜRMER, S. L.; KLAUBERG-FILHO, O.; MENDONÇA, M. M. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soils of early stages of a secondary succession of Atlantic Forest in South Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 513-521, 2006.

SURESH, S. N.; NAGARAJAN, N. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in evergreen vegetation of westernghats, **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 4, n. 1, p. 415–419, 2010.

TAHAT, M. M.; SIJAM, K. Mycorrhizal Fungi and Abiotic Environmental Conditions Relationship. **Research Journal of Environmental Sciences**, v. 6, p. 125-133, 2012.

TAMASLOUKHT, M.; SÉJALON-DELMAS, N.; KLUEVER, A.; JAUNEAU A.; ROUX C.; BÉCARD, G.; FRANKEN, P. Root Factors Induce Mitochondrial Related Gene Expression and Fungal Respiration During Developmental Switch from Asymbiosis to Presymbiosis in the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Gigaspora rosea*. **Plant Physiology**, v. 131, p. 1468-1478, 2003.

TOLJANDER, J. F.; SANTOS-GONZALEZ, J. C.; TEHLER, A.; FINLAY, R. D. Community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria in the maize mycorrhizosphere in a long-term fertilization trial. **FEMS Microbiology ecology**, v. 65, p.323–338, 2008.

TYAGI, J.; VARMA, A.; PUDAKE, R. N.. Evaluation of comparative effects of arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus intraradices*) and endophyte (*Piriformospora indica*) association with finger millet (*Eleusine coracana*) under drought stress. **European Journal of Soil Biology**, v. 81, p. 1-10, 2017.

VILCATOMA-MEDINA, C.; KASCHUK, G.; ZANETTE, F. Colonization and spore richness of arbuscular mycorrhizal fungi in Araucaria nursery seedlings in Curitiba, Brazil. **International Journal of Agronomy**, v. 2018, n. 1-6, 2018.

WALKER, C.; VESTBERG, M. Synonymy amongst the arbuscular mycorrhizal fungi: *Glomus claroideum*, *G. maculosum*, *G. multisubstensum* and *G. fistulosum*. **Annals of Botany**, v. 82, p. 601-624, 1998.

WALKER, C.; BLASZKOWSKI, J.; SCHWARZOTT, D.; SCHUSSSLER, A. Gerdemannia gen. nov., a genus separated from Glomus, and Gerdemanniaceae fam. nov., a new Family in the Glomeromycota. **Mycological Research**, v. 108, p. 707-718, 2004.

WANG, P.; WU, S. H.; WEN M. X.; WAN, Y.; WU, Q. S. Effects of combined inoculation with *Rhizophagus intraradices* and *Paenibacillus mucilaginosus* on plant growth, root morphology, and physiological status of trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) seedlings under different levels of phosphorus. **Scientia Horticulturae** 205: 97–105, 2016.

WARTCHOW, F.; TULLOSS, R. E.; CAVALCANTI, M. A. Q. The discovery of *Amanita lilloi* in Brazil. **Mycotaxon**, v. 99, p. 167–174, 2007.

WENDLING, I.; STUEPP, C. A.; ZANETTE, F. **Produção de mudas de araucária por semente**. Seção de livros. EMBRAPA Floresta, capítulo 2, 2017.

WREGE M. S.; FRITZSON, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, A. de.; SOUSA, L. P. de.; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V. de.; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S. SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, p. 331–46, 2017.

WRIGHT, S. F.; GREEN, V. S.; CAVIGELLI, M. A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 546-549, 2007.

WU, Q.S.; ZOU, Y.N.; LIU, C.Y.; LU, T. Interacted effect of arbuscular mycorrhizal fungi and polyamines on root system architecture of *Citrus* seedlings. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, p. 1675-1681, 2012.

WU, Q. S.; ZOU, Y. N.; HUANG, Y. M. The arbuscular mycorrhizal fungus *Diversispora spurca* ameliorates effects of waterlogging on growth, root system, architecture and antioxidant enzyme activities of *Citrus* seedlings. **Fungal Ecology**, v. 6, p. 37-43, 2013.

XIE, X.; WENG, B.; CAI, B.; DONG, Y.; YAN, C. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth and nutrient uptake of *Kandelia obovate* (Sheue, Liu & Yong) seedlings in autoclaved soil. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 162-171, 2014.

YOSHIMURA, Y.; IDO, A.; IWASE, K.; MATSUMOTO, T.; YAMATO, M. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in the roots of *Pyrus pyrifolia* var. *culta* (Japanese Pear) in orchards with variable amounts of soil-available phosphorus. **Microbes Environments** v. 28, p. 105-111, 2013.

ZANDAVALLI, R. B. **Aspectos ecológicos e fisiológicos de micorrizas em *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze**. 2001. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; SOUZA, P. V. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**, v. 25, p 245-255, 2004.

ZANDAVALLI, R. B.; STURMER, S. L.; DILLENBURG, L. R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forest with *Araucaria* in Southern Brazil. **Hoehnea**, v. 35, p. 63-68, 2008.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. de (Ed.). **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília: Embrapa, 2017. p. 15-39.

ZANGARO, W.; MOREIRA, M. **Micorrizas arbusculares nos biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária**. In: Siqueira, J. O.; Souza, F. A.; Cardoso, E. J. B. N.; Tsai, S. M. editores. *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras: Editora UFLA; 2010.

ANEXOS

ANEXO 1. MACRO E MICROELEMENTOS PRESENTES NA ACÍCULA, TRONCO E RAIZ DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 75 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

Tratamentos	C (%)			N (%)			P (mg kg ⁻¹)			K (mg kg ⁻¹)			Ca (mg kg ⁻¹)		
	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz
<i>Gigaspora margarita</i>	43 ^{a*}	41 ^a	40 ^a	1,52 ^b	0,95 ^b	1,02 ^a	3,07 ^{ab}	3,12 ^b	4,63 ^b	18 ^a	19 ^a	11 ^a	8,72 ^a	4,03 ^{abc}	2,38 ^{bc}
<i>Rhizophagus intraradices</i>	44 ^a	42 ^a	39 ^a	1,51 ^b	0,91 ^b	0,82 ^a	2,76 ^{ab}	2,77 ^b	3,57 ^b	16 ^a	18 ^a	10 ^a	6,80 ^{bc}	3,94 ^{abc}	1,91 ^c
<i>Acaulospora colombiana</i>	43 ^a	42 ^a	42 ^a	1,54 ^b	0,93 ^b	0,82 ^a	3,16 ^{ab}	2,73 ^b	3,61 ^b	18 ^a	18 ^a	10 ^a	8,62 ^{ab}	3,71 ^{bc}	1,97 ^c
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	45 ^a	44 ^a	44 ^a	1,77 ^b	0,91 ^b	1,12 ^a	3,34 ^{ab}	2,55 ^b	5,18 ^{ab}	16 ^a	14 ^a	12 ^a	5,69 ^c	2,94 ^c	2,24 ^{bc}
<i>Dentiscutata heterogama</i>	44 ^a	43 ^a	41 ^a	1,65 ^b	0,83 ^b	1,15 ^a	3,39 ^{ab}	3,22 ^b	5,00 ^{ab}	16 ^a	19 ^a	12 ^a	8,88 ^a	3,72 ^{bc}	2,86 ^{ab}
Floresta 50 anos	44 ^a	42 ^a	42 ^a	1,59 ^b	0,97 ^b	1,01 ^a	2,75 ^{ab}	3,81 ^b	4,21 ^b	16 ^a	19 ^a	10 ^a	7,80 ^{ab}	3,88 ^{abc}	2,37 ^{bc}
25 mg P ₂ O ₅	44 ^a	44 ^a	43 ^a	1,70 ^b	0,78 ^b	0,90 ^a	3,16 ^{ab}	3,34 ^b	5,21 ^{ab}	16 ^a	18 ^a	12 ^a	8,07 ^{ab}	4,74 ^{ab}	2,25 ^{bc}
100 mg P ₂ O ₅	45 ^a	42 ^a	41 ^a	3,20 ^a	1,86 ^a	1,29 ^a	3,79 ^a	6,56 ^a	6,51 ^a	14 ^a	18 ^a	12 ^a	9,22 ^a	5,31 ^a	3,40 ^a
Testemunha	44 ^a	43 ^a	43 ^a	1,46 ^b	0,97 ^b	0,80 ^a	2,64 ^b	2,50 ^b	3,62 ^b	16 ^a	17 ^a	11 ^a	6,79 ^{bc}	3,60 ^{bc}	1,95 ^c

Tratamentos	Mg (mg kg ⁻¹)			Fe (mg kg ⁻¹)			Cu (mg kg ⁻¹)			Mn (mg kg ⁻¹)			Zn (mg kg ⁻¹)		
	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz
<i>Gigaspora margarita</i>	3,86 ^a	4,61 ^a	2,23 ^{ab}	183 ^b	46 ^{ab}	903 ^a	3,45 ^b	3,53 ^b	4,81 ^{bcd}	171 ^{abc}	47 ^{bc}	47 ^a	28 ^a	16 ^a	18 ^a
<i>Rhizophagus intraradices</i>	3,30 ^a	5,17 ^a	1,98 ^{ab}	92 ^c	52 ^a	753 ^{ab}	3,15 ^b	3,24 ^{bc}	4,22 ^d	99 ^{bc}	35 ^{cd}	39 ^{ab}	24 ^{abc}	14 ^a	16 ^a
<i>Acaulospora colombiana</i>	3,96 ^a	3,97 ^{ab}	1,89 ^{ab}	118 ^{bc}	44 ^{ab}	351 ^c	3,33 ^b	3,46 ^b	3,90 ^d	146 ^{abc}	33 ^{cd}	28 ^b	26 ^{ab}	16 ^a	20 ^a
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	3,12 ^a	2,38 ^b	1,89 ^{ab}	114 ^{bc}	40 ^{ab}	609 ^b	3,76 ^{ab}	3,53 ^b	5,62 ^{abc}	104 ^{bc}	24 ^d	41 ^{ab}	19 ^{abc}	11 ^a	17 ^a
<i>Dentiscutata heterogama</i>	4,18 ^a	5,31 ^a	2,72 ^a	530 ^a	39 ^{ab}	676 ^b	4,65 ^a	5,42 ^a	6,41 ^a	167 ^{abc}	38 ^{bcd}	49 ^a	21 ^{abc}	17 ^a	23 ^a
Floresta 50 anos	3,29 ^a	4,10 ^{ab}	1,90 ^{ab}	74 ^c	48 ^{ab}	646 ^b	3,68 ^{ab}	5,36 ^a	6,16 ^{ab}	94 ^c	34 ^{cd}	45 ^{ab}	15 ^c	15 ^a	22 ^a
25 mg P ₂ O ₅	3,51 ^a	4,17 ^a	2,41 ^{ab}	89 ^c	49 ^{ab}	382 ^c	2,90 ^b	2,86 ^{bc}	4,05 ^d	188 ^{ab}	57 ^b	39 ^{ab}	17 ^{bc}	14 ^a	17 ^a
100 mg P ₂ O ₅	3,05 ^a	4,37 ^a	2,00 ^{ab}	59 ^c	34 ^b	655 ^b	2,91 ^b	2,34 ^c	4,42 ^{cd}	201 ^a	87 ^a	55 ^a	16 ^c	13 ^a	19 ^a
Testemunha	3,14 ^a	3,53 ^{ab}	1,62 ^b	74 ^c	35 ^b	394 ^c	2,77 ^b	3,28 ^{bc}	5,62 ^{abc}	155 ^{abc}	47 ^{bc}	41 ^{ab}	18 ^{bc}	17 ^a	17 ^a

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

ANEXO 2. MACRO E MICROELEMENTOS PRESENTES NA ACÍCULA, TRONCO E RAIZ DE MUDAS DE ARAUCÁRIA INOCULADAS COM ESPÉCIES DE FMA, ADUBAÇÃO FOSFATADA E TESTEMUNHA GERMINADA APÓS 150 DIAS EM VIVEIRO EM CURITIBA, BRASIL.

Tratamentos	C (%)			N (%)			P (mg kg ⁻¹)			K (mg kg ⁻¹)			Ca (mg kg ⁻¹)		
	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz
<i>Gigaspora margarita</i>	41 ^{a*}	43 ^a	42 ^{ab}	1,34 ^{ab}	0,76 ^{ab}	0,39 ^{ab}	4,15 ^{bc}	2,53 ^{bcd}	2,07 ^a	13 ^a	11 ^{abc}	6,14 ^{ab}	7,58 ^b	2,86 ^b	1,96 ^{ab}
<i>Rhizophagus intraradices</i>	43 ^a	42 ^a	44 ^a	1,94 ^a	0,85 ^a	0,50 ^{ab}	6,62 ^a	5,06 ^a	2,98 ^a	13 ^a	12 ^{ab}	7,29 ^a	6,93 ^b	3,37 ^b	2,18 ^a
<i>Acaulospora colombiana</i>	44 ^a	44 ^a	42 ^a	0,96 ^b	0,48 ^c	0,40 ^{ab}	2,78 ^{cd}	1,83 ^d	1,98 ^a	15 ^a	11 ^{abc}	5,72 ^{ab}	7,85 ^b	3,64 ^b	1,60 ^{ab}
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	44 ^a	43 ^a	38 ^{abc}	1,31 ^{ab}	0,53 ^{bc}	0,35 ^b	3,91 ^{bcd}	1,93 ^d	0,82 ^b	14 ^a	8,18 ^c	2,94 ^b	7,40 ^b	2,83 ^b	0,95 ^b
<i>Dentiscutata heterogama</i>	42 ^a	43 ^a	33 ^c	1,50 ^{ab}	0,76 ^{ab}	0,46 ^{ab}	4,41 ^{bc}	3,71 ^b	2,31 ^a	13 ^a	12 ^{ab}	6,52 ^a	9,27 ^b	3,85 ^b	2,20 ^a
Floresta 50 anos	43 ^a	43 ^a	34 ^{bc}	1,46 ^{ab}	0,87 ^a	0,61 ^a	3,97 ^{bcd}	3,41 ^{bc}	2,23 ^a	14 ^a	14 ^a	6,94 ^a	8,51 ^b	3,29 ^b	2,09 ^a
25 mg P ₂ O ₅	42 ^a	41 ^a	42 ^a	1,25 ^{ab}	0,58 ^{bc}	0,53 ^{ab}	5,51 ^{ab}	3,51 ^{bc}	2,32 ^a	14 ^a	13 ^{ab}	6,64 ^a	8,28 ^b	4,08 ^b	2,22 ^a
100 mg P ₂ O ₅	42 ^a	43 ^a	42 ^a	1,16 ^b	0,66 ^{abc}	0,46 ^{ab}	3,64 ^{cd}	3,10 ^{bcd}	2,47 ^a	14 ^a	11 ^{abc}	6,35 ^{ab}	15,57 ^a	7,68 ^a	2,36 ^a
Testemunha	44 ^a	43 ^a	41 ^{ab}	0,85 ^b	0,57 ^{bc}	0,31 ^b	2,30 ^d	2,31 ^{cd}	2,02 ^a	12 ^a	10 ^{bc}	6,14 ^{ab}	7,43 ^b	2,82 ^b	1,64 ^{ab}

Tratamentos	Mg (mg kg ⁻¹)			Fe (mg kg ⁻¹)			Cu (mg kg ⁻¹)			Mn (mg kg ⁻¹)			Zn (mg kg ⁻¹)		
	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz	Acícula	Tronco	Raiz
<i>Gigaspora margarita</i>	4,70 ^a	2,36 ^{abc}	1,30 ^{ab}	180 ^{ab}	49 ^{ab}	854 ^{ab}	3,17 ^{ab}	2,63 ^{ab}	10 ^b	192 ^{bc}	55 ^b	64 ^{bc}	22 ^{bcd}	19 ^{abc}	18 ^{ab}
<i>Rhizophagus intraradices</i>	4,46 ^a	2,65 ^{ab}	1,39 ^a	132 ^{ab}	45 ^{ab}	627 ^{cd}	3,77 ^a	3,25 ^a	9,35 ^{bc}	141 ^c	27 ^d	51 ^c	27 ^{ab}	26 ^a	21 ^a
<i>Acaulospora colombiana</i>	4,36 ^a	2,07 ^{abc}	1,17 ^{ab}	192 ^a	59 ^a	549 ^{cd}	3,26 ^{ab}	3,20 ^a	4,27 ^{cd}	149 ^c	43 ^{bcd}	48 ^c	15 ^{cd}	11 ^c	9,2 ^{bc}
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	4,38 ^a	1,29 ^c	0,63 ^b	168 ^{ab}	40 ^b	676 ^{bc}	2,92 ^{ab}	2,00 ^{ab}	3,57 ^d	152 ^c	34 ^{cd}	43 ^c	18 ^{bcd}	17 ^{abc}	7,0 ^c
<i>Dentiscutata heterogama</i>	4,50 ^a	2,89 ^a	1,56 ^a	191 ^a	49 ^{ab}	629 ^{cd}	3,30 ^{ab}	3,01 ^{ab}	19 ^a	189 ^{bc}	34 ^{cd}	124 ^a	25 ^{abc}	24 ^{ab}	19 ^a
Floresta 50 anos	4,65 ^a	2,57 ^{ab}	1,40 ^a	173 ^{ab}	47 ^{ab}	679 ^{bc}	3,42 ^{ab}	3,08 ^{ab}	17 ^a	141 ^c	29 ^d	82 ^b	35 ^a	21 ^{abc}	20 ^a
25 mg P ₂ O ₅	3,76 ^a	2,64 ^{ab}	1,34 ^a	85 ^b	43 ^{ab}	999 ^a	1,98 ^b	2,20 ^{ab}	8,84 ^{bcd}	266 ^b	51 ^{bc}	62 ^{bc}	20 ^{bcd}	18 ^{abc}	15 ^{abc}
100 mg P ₂ O ₅	3,57 ^a	2,28 ^{abc}	1,09 ^{ab}	116 ^{ab}	59 ^a	608 ^{cd}	2,76 ^{ab}	1,54 ^b	7,00 ^{bcd}	464 ^a	83 ^a	50 ^c	14 ^d	14 ^{bc}	15 ^{abc}
Testemunha	3,50 ^a	1,75 ^{bc}	1,39 ^a	94 ^b	45 ^{ab}	486 ^d	1,88 ^b	1,94 ^{ab}	3,99 ^{cd}	137 ^c	43 ^{bcd}	47 ^c	12 ^d	11 ^c	23 ^a

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.